

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікаційних систем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

«___» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Телекомунікаційні системи та мережі»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Оптоволоконні мережі доступу FTTx, технології, принципи
побудови, перспективи розвитку»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ТС-72

Тельчарова Діана Олександрівна _____

Керівник:

Доцент кафедри ТС, доцент

Носков Вячеслав Іванович _____

Рецензент:

Незалежний експерт з телекомунікацій, к.т.н.

Вахрушев Володимир Платонович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2021

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студентці

Тельчаровій Діані Олександрівні

1. Тема роботи «Оптоволоконні мережі доступу FTTx, технології, принципи побудови, перспективи розвитку», керівник роботи Носков Вячеслав Іванович, доцент, затверджені наказом по університету від 14 квітня 2021 р. № 1007-с.

2. Термін подання студенткою роботи 9 червня 2021 року.

3. Вихідні дані до роботи: Інформаційні матеріали щодо мереж доступу за технологією пасивних оптичних мереж (PON) та перспектив їх розвитку. Структурований план порядку розробки матеріалів дипломної роботи.

4. Зміст роботи

Обґрунтувати актуальність теми. Розглянути загальний принцип побудови та надати класифікацію оптоволоконних мереж широкосмугового доступу. Детально розглянути та проаналізувати мережі доступу, що використовують пасивну оптичну розподільчу мережу та побудовані відповідно до рекомендацій G.984xx MCE-T. Розглянути та проаналізувати мережі GE-PON відповідно до стандарту IEEE 802.3. Порівняти мережі доступу GPON та GE-PON та надати рекомендації щодо їх використання в мережах електронних комунікацій. Навести загальний сценарій розвитку мереж доступу на основі PON. Розглянути та проаналізувати особливості та технічні принципи мереж доступу першого етапу еволюції (NG-PON1). Навести

відмінності, ключові показники та концептуальні підходи щодо принципів побудови мереж другого етапу розвитку (NG-PON2). Розглянути питання сумісності новітніх мереж з існуючими мережами доступу PON.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо):
1) Тема та цілі дипломної роботи; 2) Загальна структура та класифікація оптичних мереж широкосмугового доступу; 3) Мережа доступу GPON; 4) Мережа доступу GE-PON; 5) Порівняння мереж доступу GPON та GE-PON 6) Новітні та перспективні мережі доступу NG-PON1 та NG-PON2; 6) Висновки по роботі.

6. Дата видачі завдання: 15 квітня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Класифікація мереж широкосмугового оптоволоконного доступу. Активні та пасивні оптоволоконні мережі доступу. Загальний принцип побудови. Міжнародні стандарти пасивних оптоволоконних мереж доступу (MCE-T, IEEE). Архітектура та частотний план мереж оптоволоконного широкосмугового доступу.	19.04.2021	
2	Мережі широкосмугового доступу за стандартами MCE-T. Загальний принцип функціонування мереж GPON. Принципи мультиплексування. Принципи виділення ємності в розподільчій мережі для роботи ONU/ONT. Структури фреймів на низхідній та висхідній ділянках. Принципи забезпечення QoS. Завадостійке кодування, захист трафіку, керування мережею доступу.	07.05.2021	
3	Принципи функціонування мереж за стандартами IEEE . Структура модифікованих фреймів Ethernet. Принципи виділення ємності термінальним пристроєм, протокол MPCP. Порівняння GPON та GE-PON	21.05.2021	
4	Загальний сценарій розвитку мереж GPON та GE-PON . Перший (NG-PON1) та другий (NG-PON2) етапи еволюції: основні показники, технічні принципи та архітектура. Сумісність існуючих та перспективних технологій широкосмугового доступу	31.05.2021	
5	Вступ, Висновки	04.06.2021	
6	Чистовий варіант дипломної роботи, плакати	08.06.2020	

Студентка

Діана ТЄЛЬЧАРОВА

Керівник роботи

Вячеслав НОСКОВ

АНОТАЦІЯ

Дипломну роботу виконано на 83 аркушах, вона містить перелік посилань на використані джерела з 22 найменувань. У роботі наведено 50 рисунків та 2 таблиці.

Дана дипломна робота присвячена розгляду загального принципу побудови та наданні класифікації оптоволоконних мереж широкосмугового доступу, аналізу мережі доступу, що використовують пасивну оптичну розподільчу мережу за рекомендацією G.984xx MCE-T, аналізу мережі GE-PON відповідно до стандарту IEEE 802.3.

Метою даної дипломної роботи є висвітлення основних переваг та недоліків широкосмугового оптоволоконного доступу; визначення які з них у які випадки вважаються кращими.

Було порівняно мережі доступу GPON та GE-PON та надано рекомендації щодо їх використання в мережах електронних комунікацій, також наведено загальний сценарій розвитку мереж доступу на основі PON та розглянуто питання сумісності новітніх мереж з існуючими мережами доступу.

ABSTRACT

The thesis is presented in 83 pages, it contains bibliography of 22 references. Fifty figures and 2 tables are given in the thesis.

This thesis is devoted to the general principle of construction and classification of fiber-optic broadband access networks, analysis of access networks using passive optical distribution network according to the recommendation G.984xx ITU-T, GE-PON network analysis according to IEEE 802.3.

The purpose of this thesis is to highlight the main advantages and disadvantages of broadband fiber access; determining which of them in which cases are considered the best. GPON and GE-PON access networks were compared and recommendations for their use in electronic communications networks were provided, as well as a general scenario for the development of PON-based access networks and the compatibility of newer networks with existing access networks.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ЗАГАЛЬНИЙ ПРИНЦИП ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ШИРОКОСМУГОВОГО ОПТОВОЛОКОННОГО ДОСТУПУ	10
1.1 Основні поняття та класифікація	10
1.2 Активні та пасивні оптоволоконні мережі доступу. Загальний принцип побудови.....	15
1.3 Міжнародні стандарти пасивних оптоволоконних мереж доступу (МСЕ-Т, ІЕЕЕ)	19
1.4 Архітектура мереж оптоволоконного широкосмугового доступу	22
1.5 Частотний план пасивних мереж оптоволоконного доступу з урахуванням перспектив розвитку	26
1.6 Висновки з розділу 1	31
2 МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ЗА СТАНДАРТАМИ МСЕ-Т ...	33
2.1 Загальний принцип функціонування мереж GPON	33
2.2 Принципи мультиплексування.....	35
2.3 Принципи виділення ємності в розподільчій мережі для роботи ONU/ONT. Протокол DBA	38
2.4 Структури фреймів на низхідній та висхідній ділянках.....	43
2.5 Принципи забезпечення QoS.....	45
2.6 Завадостійке кодування, захист трафіку, керування мережею доступу	47
2.7 Висновки з розділу 2	54
3 МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ЗА СТАНДАРТАМИ ІЕЕЕ	55
3.1 Принципи функціонування мереж GE-PON. Структура модифікованих фреймів Ethernet.	55
3.2 Принципи виділення ємності термінальним пристроям, протокол MPCP ...	61
3.3 Порівняння GPON та GE-PON	66
3.4 Висновки з розділу 3	68

4	ЕВОЛЮЦІЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ GPON ТА GE-PON.....	70
4.1	Загальний сценарій розвитку мереж GPON та GE-PON	70
4.2	Перший етап розвитку: XG-PON, 10GE-PON. Основні показники, технічні принципи та архітектура.....	72
4.3	Другий етап розвитку: 40GPON, 100GE-PON. Основні показники, технічні принципи та архітектура.....	76
4.4	Сумісність існуючих та перспективних технологій широкопasmового доступу	78
4.5	Висновки з розділу 4	80
	ВИСНОВКИ.....	81
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	82

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

FTTx	Fiber To The X — оптичне волокно до точки X
FTTH	Fiber To The Home — доведення волокна до квартири
FTTB	Fiber To The Building — доведення волокна до будівлі
FTTN	Fiber to the Node — волокно до мережевого вузла
FTTC	Fiber To The Curb — доведення волокна до групи будинків
ONU	Optical Network Unit — оптичний мережевий блок
OLT	Optical Line Terminal — термінал оптичної лінії
ONT	Optical Network Terminal — оптичний мережевий термінал
AON	Active optical network — активна оптична мережа
WDM	Wavelength Division Multiplexing — спектральне ущільнення каналів передачі
PON	Passive Optical Network — пасивна оптична мережа
TDM	Time Division Multiplexing — мультиплексування з поділом за часом
TWDM	Time Wavelength Division Multiplexing — мультиплексування з тимчасовим поділом по довжині хвилі
EDFA	Erbium Doped Fibre Amplifier — волоконно-оптичний підсилювач на оптичному волокні, легованому іонами ербію
GPON	Gigabit Passive Optical Network — гігабітна пасивна оптична мережа
ODN	Optical Distribution Network — оптична розподільча мережа
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation — розподіл динамічної смуги пропускання
OMCI	ONU Management and Control Interface — інтерфейс управління та контролю ONU
QoS	Quality of Service — якість обслуговування
MPCP	Multi Point Control Protocol — протокол багатоточкового управління

ВСТУП

На сьогодні інформація має вирішальну роль у житті людини, тому глобальні й локальні комп'ютерні мережі, система телебачення і радіомовлення, засоби стільникового зв'язку є елементами інформаційної конфігурації суспільства, що забезпечують разом з цим і комунікацію між людьми. Тобто, зв'язок є важливим фактором в досягненні успіху, наприклад, між конкуруючими компаніями, забезпечуючи економічне зростання та розвиток будь якого району.

Сьогоднішні телекомунікаційні мережі створені для задоволення потреб населення в послугах телефонного зв'язку і передачі даних та відео інформації. Все більш популярними в даний час як в Україні, так і в інших країнах, стають технології виду FTTx. Пов'язано це з тим, що оператори зв'язку поступово переводять свою увагу з використання мідної мережевої інфраструктури на оптичну тому, що пропускна здатність та канална ємність мідних кабелів не дозволяє повністю реалізувати сучасні послуги. Саме тому найкращим рішенням в таких випадках стала побудова волоконно-оптичної кабельної інфраструктури, яка здатна забезпечити широкосмуговий доступ, достатній для надання всім користувачам наявних та перспективних послуг зв'язку.

У даній роботі проаналізовано кілька варіантів реалізації технології FTTx, що відрізняються здебільшого тим, на якій відстані до призначеного для користувача терміналу знаходиться оптичний кабель. Наразі інтенсивно розгортається оптична мережа доступу з прокладанням кабелю до будівлі (FTTB) та безпосередньо до абонента (FTTH).

1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ЗАГАЛЬНИЙ ПРИНЦИП ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ШИРОКОСМУГОВОГО ОПТОВОЛОКОННОГО ДОСТУПУ

1.1 Основні поняття та класифікація

Кожного року все більше зростає інтерес до розвитку мереж доступу з можливістю надання абоненту широкосмугового каналу зв'язку. Пов'язано це зі швидким зростанням вимог до смуги пропускання мереж зв'язку, спричинений появою нових широкосмугових послуг. До них відносять послуги для бізнесу (тобто відеоконференцзв'язок, видалене навчання, телемедицина) і розважальні послуги (відео за запитом, цифрове мовлення, HDTV, online ігри і тому подібне). Застосовані в даний час технології не можуть надати економічно вигідного рішення для задоволення зростаючих потреб, саме тому починають використовувати не зовсім звичні технології [1].

На сьогодні виділяють такі послуги ШСД в Україні:

- FTTx - волоконно-оптичні лінії зв'язку;
- xDSL - мідні лінії зв'язку;
- DOCSIS - коаксіальний (телевізійний) кабель;
- VSAT - супутникові канали;
- Wi-Fi, WiMAX, 3G та 4G - бездротовий доступу.

Виразним трендом останніх років, який навряд чи зміниться найближчим часом є подальше зростання кількості підключень до мережі Інтернет саме через мобільні пристрої і, відповідно, – необхідність враховувати це в інфраструктурних проектах.

Проте усі ці стандарти майже не розглядаються в стратегічних планах оновлення інфраструктури ШСД як кінцеві варіанти, що повністю вирішують сучасні потреби у ШСД. Частіше за все дійсно стратегічними визнаються волоконно-оптичні технології, що базуються на використанні волоконно-оптичного кабелю, ефективний строк експлуатації якого становить від 10 до 80 років, а в середньому – 25 [2].

Мережі доступу, що побудовані на базі оптичного волокна, зазвичай описують терміном Fiber To The X або FTTx (англ. fiber to the x - оптичне волокно до точки X) - це загальний термін для будь-якої мережі, в якій від вузла зв'язку до певного місця (точка X) доходить волоконно-оптичний кабель, а далі, до абонента - мідний кабель (можливий і варіант, при якому оптика прокладається безпосередньо до абонентського пристрою). Таким чином, FTTx - це тільки фізичний рівень. Однак фактично це поняття охоплює і велика кількість технологій канального і мережевого рівня. З широкою смугою систем FTTx нерозривно пов'язана можливість надання великої кількості нових послуг [3].

Є кілька варіантів реалізації FTTx, з них можна виділити такі [1]:

- FTTH - Fiber To The Home (доведення волокна до квартири);
- FTTB - Fiber To The Building (доведення волокна до будівлі).

Варіанти, які по суті, дублюють FTTH і FTTB, але з невеликими змінами:

- FTTN - Fiber to the Node (волокно до мережевого вузла);
- FTTO - Fiber To The Office (доведення волокна до офісу);
- FTTC - Fiber To The Curb (доведення волокна до кабельної шафи/ мікрорайону, кварталу або групи будинків);
- FTTCab - Fiber To The Cabinet (аналог FTTC);
- FTTR - Fiber To The Remote (доведення волокна до віддаленого модуля, концентратора);
- FTTOpt - Fiber To The Optimum (доведення волокна до оптимального пункту);
- FTTP - Fiber To The Premises (доведення волокна до точки присутності клієнта).

Окремо потрібно відзначити концепцію

- FITB (Fiber In The Building) - організація розподільної мережі всередині будівлі.

Але основними з них є FTTN, FTTC, FTTB и FTTH, тому розглянемо більш детально. Вони відрізняються головним чином тим, наскільки близько до призначеного для користувача терміналу знаходиться оптичний кабель (рис 1.1.).

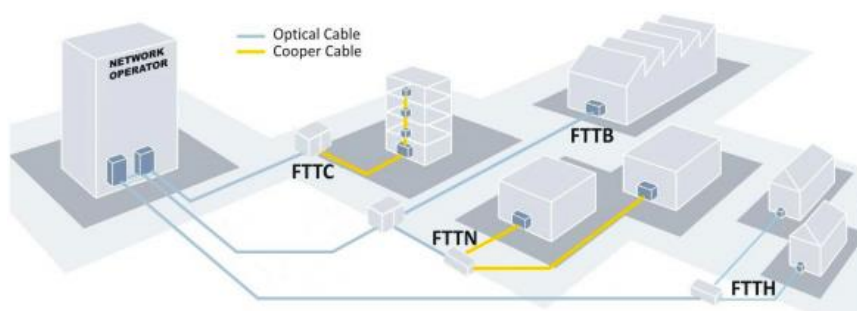


Рисунок 1.1 - Варіанти підключення по технології FTTx

FTTN - Fiber to the Node («оптика до мережевого вузла»). Є однією з перших технологій зв'язку. В даний час FTTN використовується в якості економ варіанту, так як не вимагає великої кількості витрат. Якщо на місцевості розвинена кабельна інфраструктура, то FTTN досить просто підключити до мережевого вузла. На сьогодні FTTN використовують лише у віддалених районах, там, де протягувати оптику занадто складно [4].

FTTC - Fiber-To-Curb («оптика до групи будинків»). Це поліпшений варіант FTTN, позбавлений частини властивих йому недоліків. У FTTC в основному використовуються мідні кабелі, прокладені усередині будівель, які, як правило, не схильні до проблем, пов'язаних з попаданням води в телефонну каналізацію, з великою протяжністю лінії і якістю використовуваних мідних жил, що дозволяє добитися більш високої швидкості передачі на мідній ділянці. FTTC в першу чергу призначена для операторів, що вже використовують технології xDSL або PON, і операторів кабельного телебачення. Реалізація цієї архітектури дозволяє їм з меншими витратами збільшити число обслуговуваних користувачів. В Україні цей тип підключення часто застосовується невеликими операторами Ethernet-мереж. Пов'язано це з нижчою вартістю мідних рішень і з тим, що монтаж оптичного кабелю вимагає високої кваліфікації виконавця.

FTTB - Fiber-To-The-Building («оптика до будинку») набула найбільшого поширення, так як при будівництві мереж FTTx на базі Ethernet - це, найчастіше, єдина технічно можлива схема побудови мережі. Крім того, в структурі витрат на створення Ethernet-мережі різниця між варіантами FTTC і FTTB відносно невелика.

Також не слід забувати, що операційні витрати при експлуатації мережі FTTB нижче, а пропускна здатність вище [5].

Технологію FTTB доцільно застосовувати в разі розгортання мережі в багатоквартирних будинках і бізнес-центрах. Українські оператори зв'язку розгортають мережі FTTB поки тільки у великих містах, але в перспективі планується використання даної технології повсюдно. У FTTB немає необхідності прокладати дорогий оптичний кабель з великою кількістю волокон, як при використанні FTTH.

У разі FTTB оптичне волокно заводиться в будинок, як правило, на цокольний поверх або на горище і підключається до пристрою ONU (Optical Network Unit). На стороні оператора зв'язку встановлюється термінал оптичної лінії OLT (Optical Line Terminal). OLT є начальним пристроєм і визначає параметри обміну трафіку (наприклад, інтервали часу прийому / передачі сигналу) з абонентськими пристроями ONU (або ONT, в разі FTTH). Подальший розподіл мережі по дому відбувається по «крученій парі» (рис 1.2.).

На FTTB легко накладаються нові технології. У даній архітектурі до одного пристрою приєднують мінімальну кількість абонентів, що дозволяє значно знизити рівень перешкод [6].

FTTH - Fiber-to-the-home («оптика до квартири»). FTTH - технологія, яка проводить оптичний зв'язок прямо до будинку (рис 1.3.). Саме завдяки FTTH у нас з'явилася можливість користуватися широкосмуговим доступом до інтернету. FTTH має високу пропускну смугу і дозволяє досягати хороших швидкостей. FTTH дає можливість через один порт користуватися інтернетом, телефоном і телебаченням. При цьому, зберігає Вашу конфіденційність, адже для доступу до мережі необхідний пароль. Зламати FTTH або прослухати неможливо. Крім того, FTTH - надійна фізично, так як оптичний кабель не іржавіє [4].

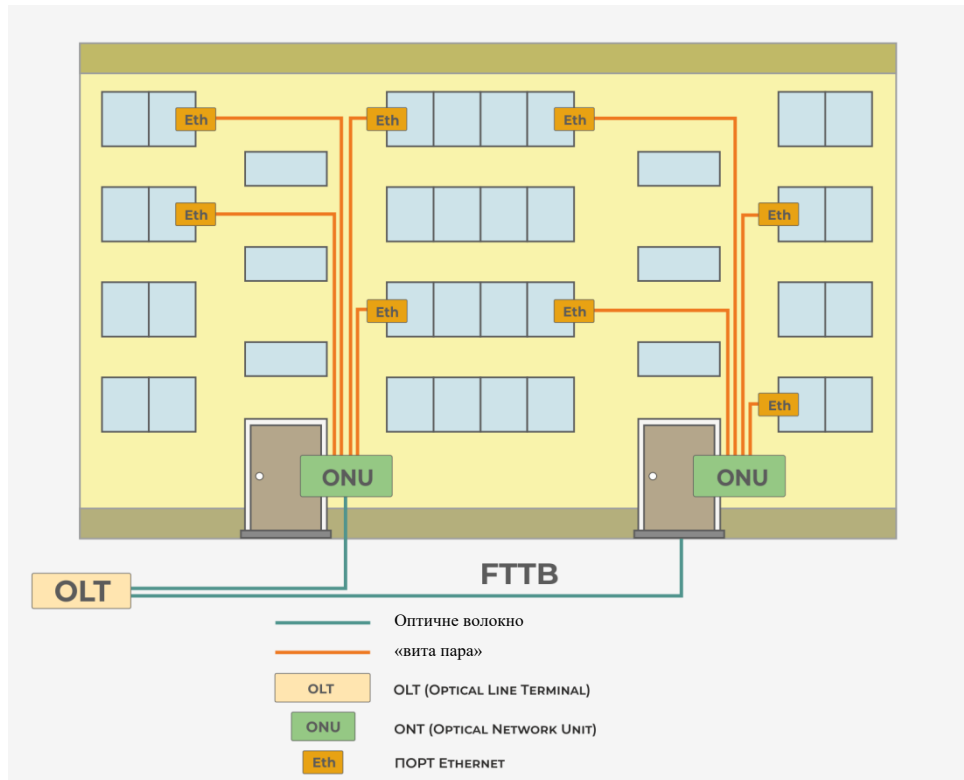


Рисунок 1.2 - Технологія FTTB

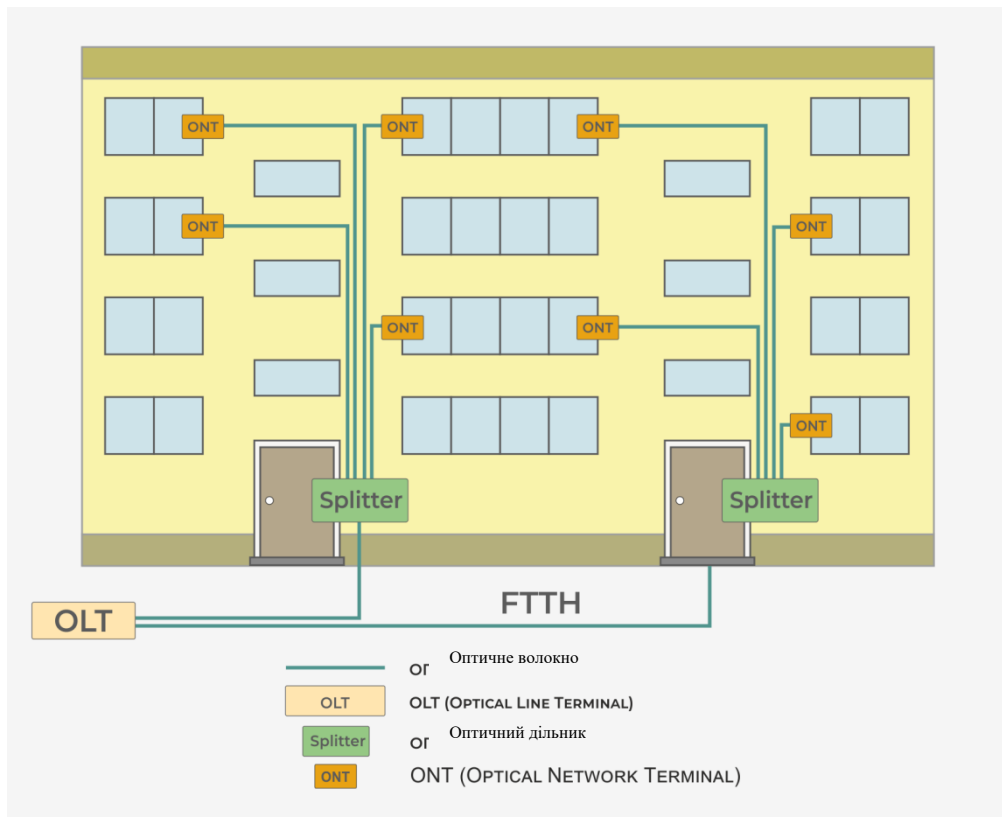


Рисунок 1.3 - Технологія FTTH

У свою чергу експерти компанії Alcatel-Lucent перераховують наступні переваги архітектури FTTH [7]:

- з усіх варіантів FTTx вона забезпечує найбільшу смугу пропускання;
- це повністю стандартизований і найбільш перспективний варіант;
- рішення FTTH забезпечує масове обслуговування абонентів на відстані до 20 км від вузла зв'язку;
- FTTH дозволяє істотно скоротити експлуатаційні витрати – за рахунок зменшення площі технічних приміщень (необхідних для розміщення устаткування), зниження енергоспоживання і власне витрат на технічну підтримку.

1.2 Активні та пасивні оптоволоконні мережі доступу. Загальний принцип побудови

Існує два основних шляхи розгортання високошвидкісних мереж FTTH: активна оптична мережа (AON) і пасивна оптична мережа (PON).

Активна оптична мережа

AON - це мережева структура типу «точка-точка», тобто є двоточною структурою (P2P), в якій кожен абонент має свою власну волоконно-оптичну лінію, яка закінчується на оптичному концентраторі.

Мережа AON включає комутаційне обладнання з електричним живленням, таке як маршрутизатор або комутатор-агрегатор, для управління розподілом сигналів і сигналами напрямків конкретних клієнтів (рис 1.4.) [8]. Використання AON поширюється для сегментів кінцевих споживачів з різним рівнем прибутку, таких як бізнес-клієнти, компанії зі створення будівельних споруд, навчальні заклади, місцева влада тощо.

Ethernet – найбільш поширений у використанні протокол в мережах AON. Мережі з його використанням отримали назву «активні оптичні Ethernet-мережі», або Ethernet FTTH. Ethernet мережа потребує проведення лінії зв'язку до кінцевого користувача. Для створення ліній зв'язку, на магістральних ділянках

використовують оптоволоконний кабель, а зі сторони кінцевого користувача застосовують «кручену пару» від Ethernet CPE. Самі пристрої Ethernet CPE мають доступну для користувачів вартість, розміщуються у приміщенні та забезпечують якісний зв'язок. Для багатоповерхових будівель може бути застосований варіант розводки «крученої пари» по всіх приміщеннях від комутаторів, які розташовуються на нижніх поверхах. Такий метод зв'язку має меншу пропускну здатність, але забезпечує можливість зменшити вартість розгортання мережі в будівлі при великій кількості підключених абонентів [9].

Місце розташування кінцевих пристроїв залежить від типу будівлі, в якій розгортається мережа. Вони можуть бути розташовані як у окремому приміщенні приватного будинку, так і у багатоквартирному будинку на нижніх поверхах, де знаходяться комутатори, від яких лінії зв'язку прокладаються до всіх необхідних приміщень [10].

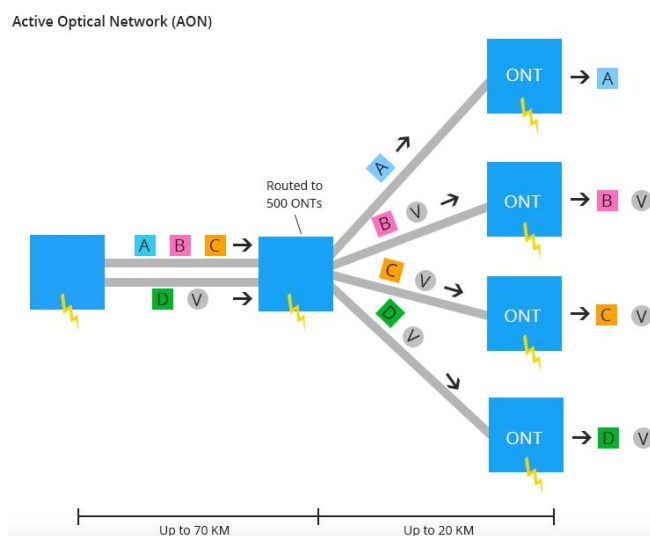


Рисунок 1.4 - Загальна структура мережі AON

Пасивна оптична мережа

Активне обладнання, таке як регенератор або комутатор, використовують між вузлом доступу і кінцевим призначенням для користувача обладнанням активної мережі. На відміну від активних мереж, у пасивних мережах таке обладнання не використовується, тому мережа вже складається тільки з пасивних компонентів, а

саме (не рахуючи оптичного волокна): мультиплексори WDM, розгалужувачі та волоконно-оптичні з'єднувачі.

Для пасивних мереж, замість повної назви «пасивна оптична мережа» використовують аббревіатуру PON (Passive Optical Network). Загальна структура PON мережі представлена на рис 1.5. У таких мережах застосовують топологію «точка-багатоточка» (P2MP, point-to-multi point).

Активне обладнання в центральному офісі або на вузлі доступу називається оптичним лінійним терміналом (Optical Line Terminal - OLT), а обладнання на абонентському вузлі - оптичним мережевим пристроєм (Optical Network Unit - ONU).

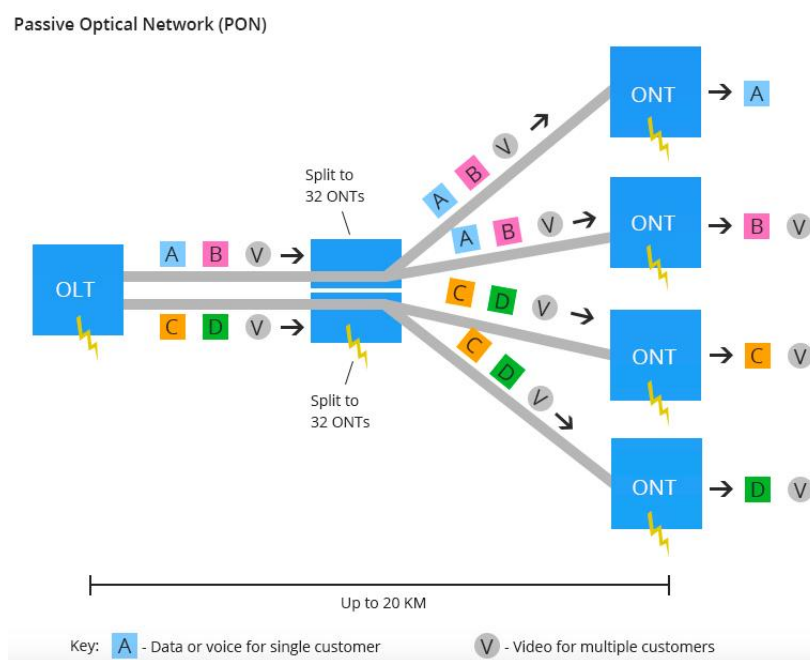


Рисунок 1.5 - Загальна структура мережі PON

У переважній більшості мереж PON зв'язок організовується по одному волокну. Комплект обладнання OLT на вузлі доступу обслуговує одномагістральне волокно, яке розподіляється між декількома абонентами за допомогою волоконно-оптичного розгалуджувача. Коефіцієнт розгалуження може досягати 64, в цьому випадку один комплект обладнання OLT обслуговує 64 комплекти обладнання ONU. Один комплект обладнання ONU також в свою чергу може обслуговувати кількох абонентів. Передача даних в прямому і зворотному напрямках здійснюється

на різних довжинах хвиль, що дозволяє об'єднати обидва напрямки в одному волокні. Напрямок від центрального вузла до абонентського називають напрямком прямого потоку (рис 1.6.), а протилежний зміст - напрямком зворотнього потоку (рис 1.7.).

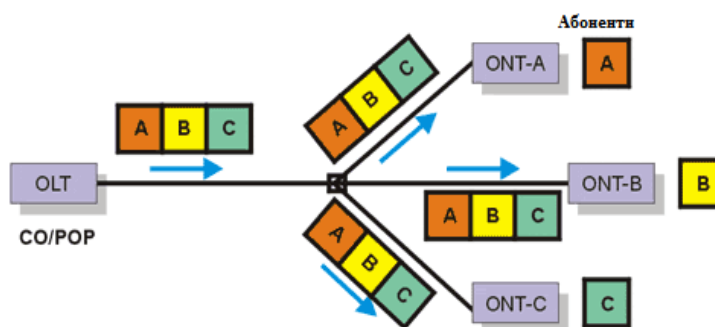


Рисунок 1.6 - Прямий потік даних

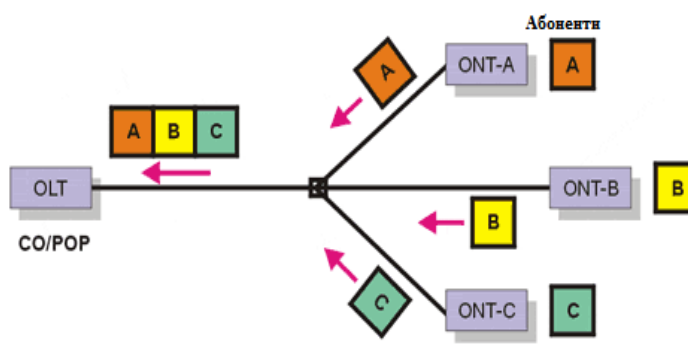


Рисунок 1.7 - Зворотній потік даних

Також слід зазначити, що тип мережі PON позначається додатковою буквою перед аббревіатурою PON.

Найбільш поширеними мережами PON є:

APON (ATM PON - пасивна оптична мережа, з використанням технології ATM)

BPON (Broadband PON - широкосмугова пасивна оптична мережа)

GPON (Gigabit-capable PON - пасивна оптична мережа, яка забезпечує гігабітні швидкості передачі даних)

EPON (Ethernet PON - пасивна оптична мережа, з використанням технології Ethernet)

WDM-PON (пасивна оптична мережа, що використовує технологію WDM).

Порівняння мереж AON і PON

Основна відмінність між ними полягає в тому, як оптичний сигнал розподіляється між кожним клієнтом в системі FTTH. В системі AON у абонентів є виділена волоконно-оптична лінія, яка дозволяє їм отримувати ту ж смугу пропускання, яка не використовується спільно. Перебуваючи в мережі PON, користувачі спільно використовують оптоволоконні кабелі для частини мережі в PON. Таким чином, люди, які використовують PON, можуть також виявити, що їх системи працюють повільніше, оскільки всі користувачі використовують одну і ту ж смугу пропускання. Якщо щось піде не так в системі PON, буде важче знайти джерело проблеми.

Щодо вартості то найбільші поточні витрати в мережі - це обладнання для електроживлення і обслуговування. У порівнянні з мережею AON, яка представляє собою мережу з харчуванням, PON використовує пасивні компоненти, які вимагають меншого обслуговування і не вимагають харчування. Так що PON дешевше, ніж AON.

Слід пам'ятати, AON може покривати відстань до 90 км, в той час як PON зазвичай обмежується довжиною оптоволоконного кабелю до 20 км. Це означає, що абоненти PON повинні бути географічно ближче до вихідного сигналу.

Отже, при виборі між PON або AON важливо враховувати, які послуги будуть надаватися по мережі, загальна топологія мережі і хто буде основним клієнтом [8].

1.3 Міжнародні стандарти пасивних оптоволоконних мереж доступу (MCE-T, IEEE)

Найбільшою перевагою PON (Passive Optical Network) є можливість одночасного надання споживачу доступних послуг (Інтернет, голосовий зв'язок та телебачення – концепція Triple Play) по одному оптичному волокну. Технологія PON має більші можливості використання оптичних волокон, які дають змогу передавати телевізійний сигнал на окремо виділеній оптичній піднесучій 1550 нм,

при цьому забезпечуючи вільний IP-канал для передавання Інтернет-трафіка та голосу.

Технологія пасивних оптичних мереж, на відміну від активних, передбачає створення розгалуженої мережі (топології «дерево», «зірка», «промінь» або «шина») без використання активних компонентів – на пасивних оптичних розгалужувачах (ОР).

В основі архітектури PON закладено використання лише одного приймально-передавального модуля в OLT з метою передавання інформації багатьом абонентським пристроям ONT і зворотньому прийому інформації від них.

До одного приймально-передавального модуля OLT може бути підключена велика кількість абонентських вузлів, число яких залежить від бюджету потужності і максимальної швидкості використаної приймально-передавальної апаратури.

Передавання і приймання інформації здійснюється по одному оптичному волокну в двох напрямках: у прямому напрямку (від станції до абонента) використовують довжину хвилі 1490 нм, а у зворотному (від абонента до станції) – 1310 нм. Для забезпечення передачі всім абонентам телевізійного сигналу використовують довжину хвилі 1550 нм.

Для об'єднання/розділення відеосигналу та цифрового сигналу прямого і зворотного напрямів передачі, у OLT та ONT вбудовано мультиплексори WDM (рис 1.8.).

Прямий потік на рівні оптичних сигналів є широкомовним. Кожен абонентський вузол ONT, читаючи адресні поля, виділяє з цього загального потоку призначену тільки йому частину інформації (рис 1.6.). Тому, ми маємо справу з розподіленням демультимплексором (для забезпечення передачі інформації від станції до абонентів, використовується метод часового розділення – TDM).

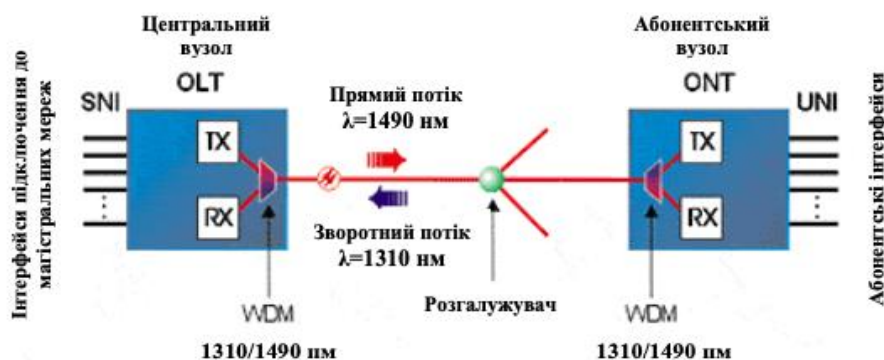


Рисунок 1.8 - WDM для розділення зустрічних напрямів передавання

Всі вузли ONT виконують передачу інформації у зворотному потоці на одній і тій самій довжині хвилі, при цьому використовуючи концепцію множинного доступу з часовим розділенням TDMA (time division multiple access) (рис 1.7.). Для кожного з них встановлюється індивідуальний розклад передачі даних, який має можливість урахування поправки на затримку, пов'язану з величиною відстані даного ONT від OLT, щоб виключити можливість перетину сигналів від різних ONT. Протокол TDMA MAC вирішує це завдання.

На сьогодні, для побудови мереж доступу PON, оператори зв'язку можуть використовувати обладнання, що базується на одній з двох груп стандартів: за Рекомендаціями IEEE або MCE-T, відрізняючись між собою базовим протоколом передачі.

На сьогодні MCE-T вже стандартизовано чотири різновиди технологій PON: BPON (Широкопasmовна PON, що базується на протоколі ATM, G.983); GPON (PON, що підтримує гігабітну швидкість передавання, G.984); XG-PON (PON, що підтримує швидкість 10 Гбіт/с, G.987) та NG-PON2 (PON, що підтримує швидкість 40 Гбіт/с, G.989). Комітетом IEEE стандартизовано два різновиди технологій PON: GEAPON (Gigabit Ethernet PON за стандартом IEEE 802.3ah) та 10GEAPON (10Gigabit Ethernet PON, IEEE 802.3av) [11].

1.4 Архітектура мереж оптоволоконного широкосмугового доступу

Зростає інтерес до розгортання оптичних мереж доступу з прокладанням кабелю до будинку (абонента), тобто FTTH, особливо в європейських країнах. Спочатку розгортанням мереж FTTH в Європі в основному займалися муніципалітети та комунальні служби, але в даний час її почали впроваджувати великі оператори зв'язку. У США і Японії розгортання мереж FTTH в основному виробляється на базі технології пасивної оптичної мережі (Passive Optical Network, PON). У Європі зазвичай застосовуються топології «точка-точка» і «кільце» з використанням технології Ethernet (Ethernet FTTH або ETTH), мережі PON FTTH зустрічаються рідше.

Архітектура мереж FTTH

Будівництво мережі FTTH - це дуже трудомісткий і, відповідно, дорогий процес. Досвід підказує, що основні витрати при розгортанні мережі FTTH припадають на будівельні роботи, а вартість самого оптоволоконного кабелю становить відносно невелику частину. Це означає, що в разі необхідності проведення будівельних робіт кількість прокладеного оптоволоконного кабелю вже не має великого значення.

Більш того, хоча життєвий цикл мережі FTTH і її електронних компонентів становить кілька років, оптоволоконний кабель і оптична розподільча мережа мають більш тривалий термін служби (приблизно 30 років). Така довговічність і великі витрати на побудову розраховують на високі вимоги до правильного проектування оптоволоконних ліній. Після того як прокладка кабелю завершена, внесення змін потребує великих витрат [12].

FTTH - перспективна технологія, що має чотири основні категорії архітектури:

- 1) «кільце» Ethernet-комутаторів;
- 2) «зірка» Ethernet-комутаторів;
- 3) «дерево» з використанням активних вузлів;
- 4) «дерево» з використанням PON (Passive Optical Network).

«Кільце» має високу надійність в разі виникнення різного роду пошкоджень кабелю, але щодо недоліків, то слід відмітити розділ полоси пропускання всередині кільця доступу, що забезпечує порівняльно невелику пропускну спроможність, а також виникають труднощі масштабування архітектури такого типу.

«Зірка» не має обмежень на використання мережних технологій (дає змогу використовувати будь-який стандарт), і забезпечує максимальну інформаційну захищеність абонентських вузлів (до кожного кінцевого пристрою прокладається виділена одноволоконна лінія зв'язку). Необхідні значні фінансові вкладання для створення такої мережі (велика кількість оптоволокон та оптичних передавачів).

«Дерево» забезпечує економію оптоволоконних ліній зв'язку, використовуючи активні вузли, а також розподіл від центрального вузла до абонентів, відповідний за швидкостями. Такий тип потребує обов'язкового використання активного розподільчого пристрою з окремим джерелом живлення.

«Дерево» з використанням PON надає можливість підключити цілий волоконно-оптичний сегмент з відповідною кількістю абонентів до одного порту центрального вузла. На проміжних вузлах встановлюються пасивні оптичні розгалужувачі (сплітери). Вони, в свою чергу, не потребують окремого джерела живлення. Це дає можливість забезпечити достатню економію за рахунок кількості оптичних передавачів/приймачів та довжини оптичних ліній. Недолік такої архітектури - це менша надійність, за рахунок довгого пошуку місця відмови, а також потреби забезпечення інформаційної безпеки потоків даних, які передаються в загальній мережі.

Проведений аналіз архітектур чітко визначає пріоритетність їх використання в залежності від визначених вимог до системи зв'язку. Найбільш перспективними за швидкісними показниками та пристосуванням до подальшої модернізації є дві архітектури: «зірка» та «дерево» за PON технологією. Саме вони і потребують подальшого детального аналізу [13].

Архітектура на базі Ethernet

Необхідність швидкого виведення на ринок і зниження вартості для абонентів привели до появи мережевої архітектури на базі Ethernet-комутації. Передача даних

по мережі Ethernet і Ethernet-комутація стали приносити дохід на ринку корпоративних мереж і привели до зниження цін, появи закінчених продуктів і до ускореного освоєння нових продуктів.

В основі перших європейських проектів мереж Ethernet FTTH лежала архітектура, при якій комутатори, розташовані на цокольних поверхах багатоквартирних будинків, були об'єднані в кільце за технологією Gigabit Ethernet.

Ця структура забезпечувала чудову стійкість до різного роду пошкоджень кабелю та була вельми рентабельною, але до її недоліків можна було віднести поділ смуги пропускання всередині кожного кільця доступу (1 Гбіт / с), що давало в перспективі порівняно невелику пропускну здатність, а також викликало труднощі масштабування архітектури.

Потім широкого поширення набула архітектура Ethernet типу «зірка» (див. Рис 1.9.). Така архітектура передбачає наявність виділених оптоволоконних ліній (зазвичай одномодових, одноволоконних ліній з передачею даних Ethernet за технологією 100BX або 1000BX) від кожного кінцевого пристрою до точки присутності (point of presence, POP), де відбувається їх підключення до комутатора. Кінцеві пристрої можуть знаходитися в окремих житлових будинках, квартирах або багатоквартирних будинках, на цокольних поверхах яких розташовуються комутатори, що доводять лінії по всіх квартирах за допомогою відповідної технології передачі [12].

використовуються групою користувачів. Голосові сервіси, а також послуги передачі даних і відео доводяться від ONU або ONT до абонента по кабелях, прокладених в приміщенні абонента [12].

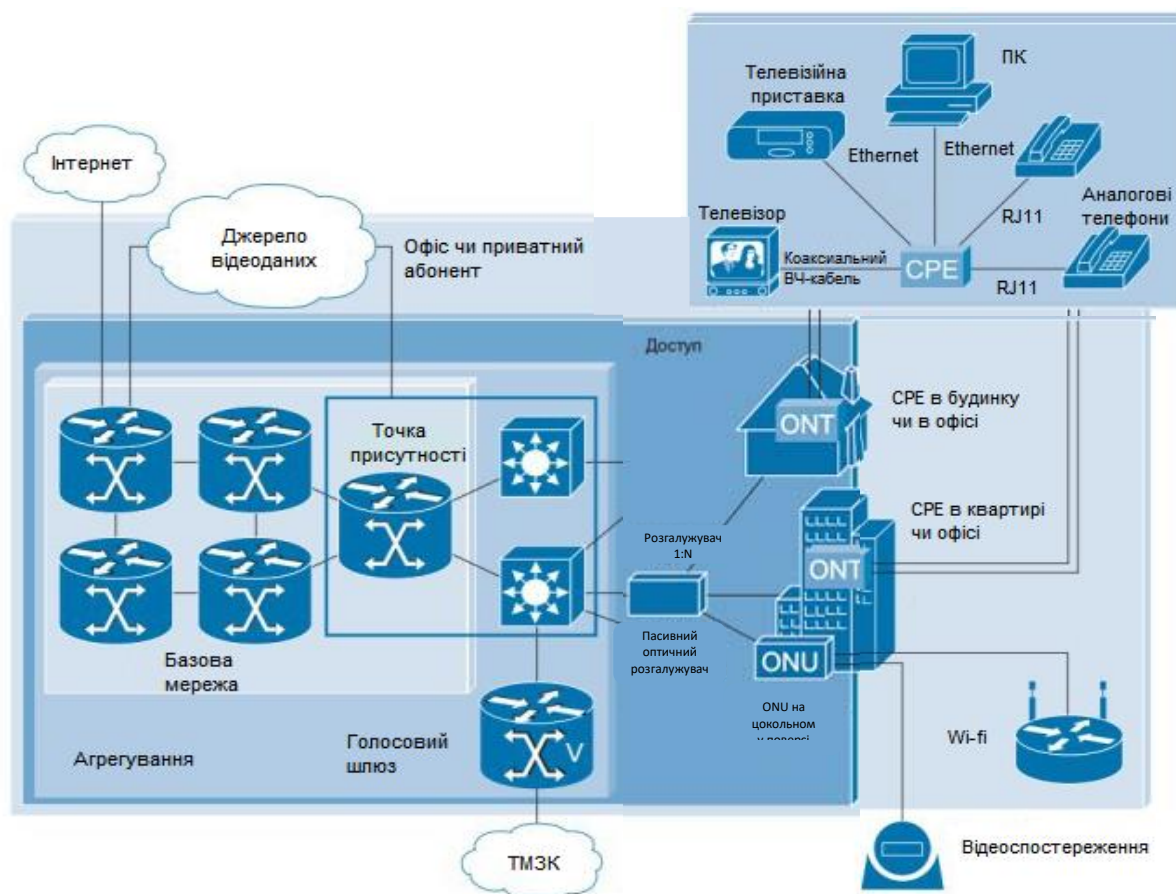


Рисунок 1.10 - Архітектура пасивної оптичної мережі (PON)

1.5 Частотний план пасивних мереж оптоволоконного доступу з урахуванням перспектив розвитку

Існують два основних напрямки розвитку PON - EPON-мережі і GPON-мережі. Останньою сходинкою еволюції GPON-мереж є технологія TWDM PON - Time Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Networking, пасивні оптичні мережі з тимчасовим і частотним (спектральним) мультиплексуванням.

Технологія TWDM-PON використовує для організації дуплексних каналів зв'язку чотири пари довжин хвиль в різних спектральних діапазонах. Для

формування потоків upstream використовуються довжини хвиль ($\lambda_1 - \lambda_4$), для downstream ($\lambda_5 - \lambda_8$) (рис 1.11.).

У системах TWDM PON для передачі потоків може бути використано три частотні діапазони: 1270-1280 / 1570-1580 нм - XG-PON-діапазон, 1535-1540 / 1553-1558 нм - C-band-діапазон, 1535-1540 / 1570- 1580нм - C + L-band-діапазон.

Передача сигналів TWDM PON в діапазонах C-band та C + L-band дозволяє використовувати оптичні підсилювачі EDFA для збільшення оптичного бюджету траси.

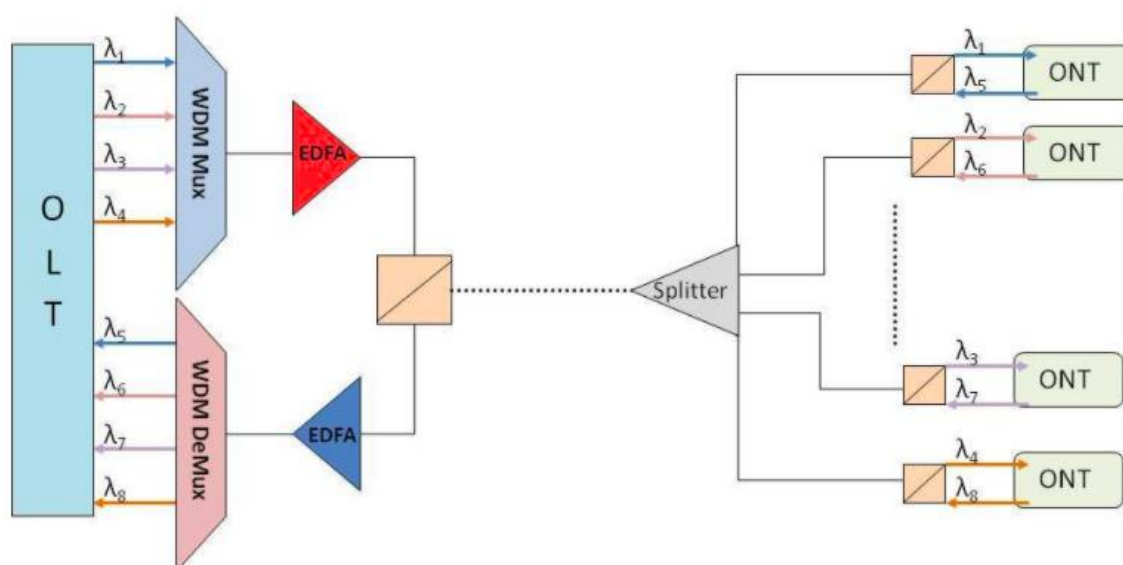


Рисунок 1.11 - Елементи мережі PON

Крім великої кількості довжин хвиль, використовуваних для формування потоків up / downstream, TWDM PON передбачає використання перебудованих оптичних передавачів і селективних оптичних приймачів в станційному і кінцевому обладнанні (OLT і ONU / ONT).

Використання перебудовуваних компонентів дозволяє масштабувати, перебудовувати мережу TWDM PON на апаратному рівні без необхідності фізично перебудовувати мережу передачі.

TWDM PON дозволяє, крім гнучкої настройки хвиль, проводити тонке налаштування швидкості передачі в рамках одного каналу. Підтримуються як симетричні по швидкості передачі канали зв'язку 10G / 10G і 2.5G / 2.5G, так і

несиметричні 10G / 2.5G. У мережах TWDM PON використовують діапазони довжин хвиль - XG-PON діапазон, C-band діапазон і C + L-band діапазон.

1. XG-PON-діапазон. Частотний план повністю повторює робочі діапазони XG-PON: 1270-1280 нм для upstream і 1570-1580 нм для downstream. Використання даного частотного плану дозволяє організовувати передачу в рамках однієї мережі: TWDM PON, GPON, CATV.

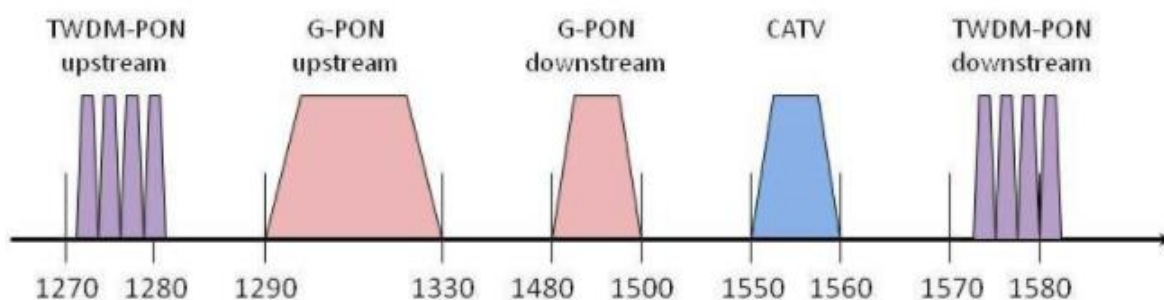


Рисунок 1.12 - XG-PON-діапазон

У даній частотній сітці неможливе використання оптичних підсилювачів EDFA, в зв'язку з цим максимальний оптичний бюджет системи складає 33 дБ. Використання XG-PON-діапазону виправдано при необхідності вбудовувати нові канали передачі в існуючу систему GPON + CATV без необхідності збільшувати оптичний бюджет траси.

2. C-band-діапазон. В даному випадку частотний план являє собою стандартний C-band-діапазон: 1535-1540 нм для upstream і 1553-1558 нм для downstream. Використання такого частотного плану дозволяє організовувати передачу в рамках однієї мережі: TWDM PON, GPON, XG-PON.

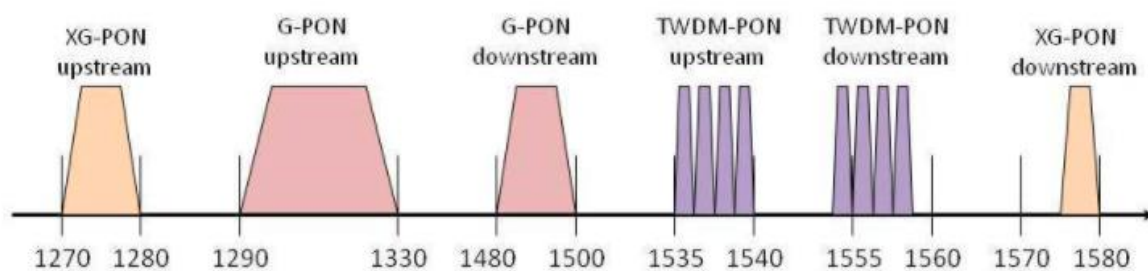


Рисунок 1.13 - C-band-діапазон

За рахунок використання довжин хвиль з C-band-діапазону з'являється можливість використовувати стандартні оптичні підсилювачі EDFA для DWDM-мереж з робочим діапазоном 1529-1561 нм. Використання EDFA дозволяє збільшити максимальний оптичний бюджет системи до значення в 38 дБ. Оптичні підсилювачі встановлюються на стороні головної станції, що дозволяє не змінювати існуючої архітектури мережі і не вводити в пасивну мережу додаткові енергозалежні елементи.

Мінусом використання даного частотного плану є його несумісність з існуючою мережею CATV.

3. C + L-band-діапазон. Даний частотний план передбачає використання Red-діапазону або C-minus Band 1535-1540 нм для upstream і L-minus Band 1570-1580 нм для downstream. Використання цього частотного плану дозволяє організовувати передачу в рамках однієї мережі: TWDM PON, GPON, CATV.

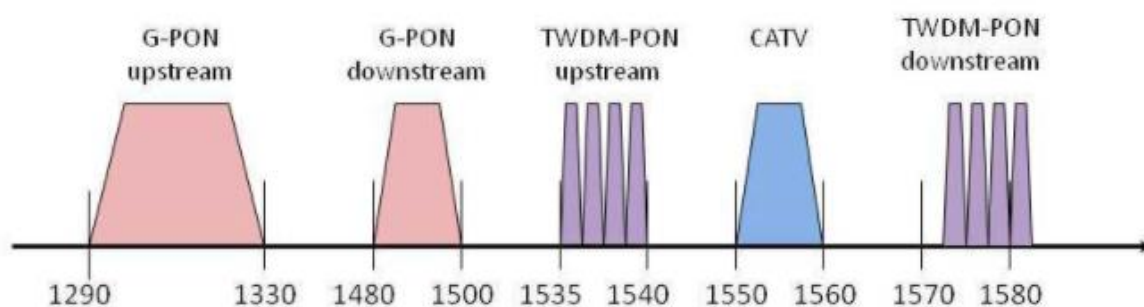


Рисунок 1.14 - C + L-band-діапазон

Використання даного частотного плану дозволяє розраховувати на оптичний бюджет до 38 дБ і одночасну передачу сигналів PON і CATV. Однак система TWDM PON на C + L-band-діапазоні має свої особливості, головною з яких є необхідність використання L-band-підсилювачів для downstream. На даний момент EDFA L-band діапазону мало затребувані, тому що C-band повністю задовольняє потреби телекомунікаційного ринку.

Якщо порівняти існуючі системи GPON з технологією TWDM PON, такі як GPON і XG PON1, то можна виділити як мінімум три відмінні риси, за якими технологія TWDM є більш перспективною:

- Загальна пропускна здатність системи. Для систем GPON пропускна здатність становить 10 Гбіт / с downstream і 2,5 Гбіт / с upstream, в той час як пропускна здатність TWDM PON це чотири незалежних потоки по 10 Гбіт / с, що і визначає загальну пропускну здатність системи - 40 Гбіт / с .
- Частотний діапазон. Системи GPON для формування каналу зв'язку використовують дві довжини хвилі. Слід зазначити, що використовуються досить широкопasmові сигнали $\lambda_1 \pm 5$ нм. У той час, як системи TWDM PON задіють чотири пари довжин хвиль з досить вузьким спектром $\lambda_1 \pm 1,6$ нм. Також слід зазначити, що в подальшому кількість задіяних довжин хвиль планується збільшити до восьми.
- Оптичний бюджет. У зв'язку з неможливістю використання оптичних підсилювачів для систем GPON оптичний бюджет обмежений $<30 \sim 33$ дБ на відміну від систем TWDM PON, для яких оптичний бюджет досягає 38 дБ.

Виходячи з перерахованих вище відмінних особливостей TWDM PON, можна припустити два основні сценарії використання подібних систем на практиці:

Першим сценарієм є "pay-as-you-grow". Даний сценарій передбачає поступове впровадження технології TWDM PON в рамках розширення існуючої мережі або на етапі розгортання нової.

Кількість задіяних пар довжин хвиль (дуплексних каналів зв'язку) безпосередньо залежить від числа абонентів мережі, при збільшенні останніх оператор може вводити нові канали ПД в експлуатацію без глобальної будівництва ВОЛЗ. У оператора відпадає необхідність спочатку «закладатися на майбутнє», з'являється можливість планомірно інвестувати в розвиток мережі, що помітно знижує фінансові ризики, а також мінімізує помилки в стратегії розвитку мережі.

Другим сценарієм використання систем TWDM PON є "local-loop-unbundling" (LLU). Даний сценарій передбачає спільне використання однієї PON-мережі декількома операторами або навмисну фрагментацію мережі одного провайдера. У

сценарії LLU для кожного провайдера / оптичної підмережі використовується певна пара довжин хвиль, подібний сценарій дозволить знизити фінансові витрати групі операторів при будівництві мережі PON або збільшити відмовостійкість мережі одного оператора.

Перспективи розвитку технології TWDM PON досить вражаючі, тому що використання оптичних підсилювачів, перебудованих оптичних компонентів, дозволяє операторам максимально гнучко розгортати і розвивати пасивні оптичні мережі. Відповідно оператори самі можуть вибрати сценарій розвитку мережі, який найкращим чином відповідає їх бізнес моделі. TWDM PON може співіснувати з іншими PON-технологіями, це також залишає простір для зростання операторів і додавання довжин хвиль поступово, у міру необхідності. В результаті оператор може побудувати мережу, запустити GPON, і потім виділяти довжини хвиль для компаній-провайдерів або залишити для власних потреб [15].

1.6 Висновки з розділу 1

1. FTTH - найдешевший вид зв'язку, але і найбільш повільний. FTTC монтує оптичну мережу до кросу на вулиці, а в будинку веде вже мідний кабель, так як використовує коаксіальний підсилювач і завжди буде дешевше волоконного зв'язку. А вартість монтажу FTTC набагато нижче оптичної мережі. FTTB є оптимальним варіантом для користувачів тому, що передбачає мережу приблизно з 200 абонентів і величезною її перевагою є простота і легкість побудови додаткових мереж. Отже, інтенсивно зростає інтерес до розгортання оптичних мереж доступу FTTB та FTTH, що пояснюється постійним зростанням вимог до пропускної здатності каналів зв'язку. Щодо архітектури, то FTTB переважає в новобудовах та у великих операторів зв'язку, а FTTH - в новому малоповерховому будівництві.

2. При прийнятті рішення про вибір PON або AON варто врахувати, яким буде клієнт, які послуги йому потрібні, і масштаб самої мережі. Наприклад, PON - підходить для довгих дистанцій, AON - якщо мережа створюється для використання лише кількома особами. В усіх випадках не існує єдиної технології. В принципі

пасивні оптичні мережі - кращий вибір для постачальників мережевих послуг, які постачають послуги великій кількості користувачів. У той час як активні оптичні мережі більш підходять мережевим операторам для створення приватних волоконно-оптичних ліній комерційним особам.

3. Для побудови мереж доступу PON використовують обладнання, що базується на одній з двох груп стандартів: за Рекомендаціями IEEE або MCE-T, відрізняючись між собою базовим протоколом передачі.

4. Будівництво мережі FTTH трудомісткий і дорогий процес, так як при завершенні прокладанні кабелю внесення змін потребує великих витрат. Архітектура на базі Ethernet забезпечує чудову стійкість до різного роду пошкоджень кабелю, але має невелику пропускну здатність та труднощі масштабування архітектури.

5. У системах TWDM PON для передачі потоків може бути використано три частотні діапазони: 1270-1280 / 1570-1580 нм - XG-PON-діапазон, 1535-1540 / 1553-1558 нм - C-band-діапазон, 1535-1540 / 1570- 1580нм - C + L-band-діапазон.

2 МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ЗА СТАНДАРТАМИ МСЕ-T

2.1 Загальний принцип функціонування мереж GPON

GPON (Gigabit Passive Optical Network) - гігабітна пасивна оптична мережа, що відноситься до сімейства технологій PON, яка дозволяє розвивати швидкість передачі даних до 1000 Мбіт/с та складається з:

- Станційного терміналу OLT (*Optical Line Terminal*), що містить у собі певну кількість портів GPON (від 4 до 112) та порти Gigabit Ethernet або 10 Gigabit Ethernet для підключення до транспортної IP мережі.
- Абонентського терміналу ONT (*Optical Network Terminal*). ONT може бути розрахованим на одного користувача або на групу користувачів з портами Ethernet, POTS та RF TV чи портами Ethernet, xDSL, POTS, E1, RF TV відповідно.
- Повністю пасивної оптичної розподільчої мережі між ними, вона складається зі сплітерів з коефіцієнтом розділення від 1:2 до 1:64, що розташовані централізовано, або розподілено [16].

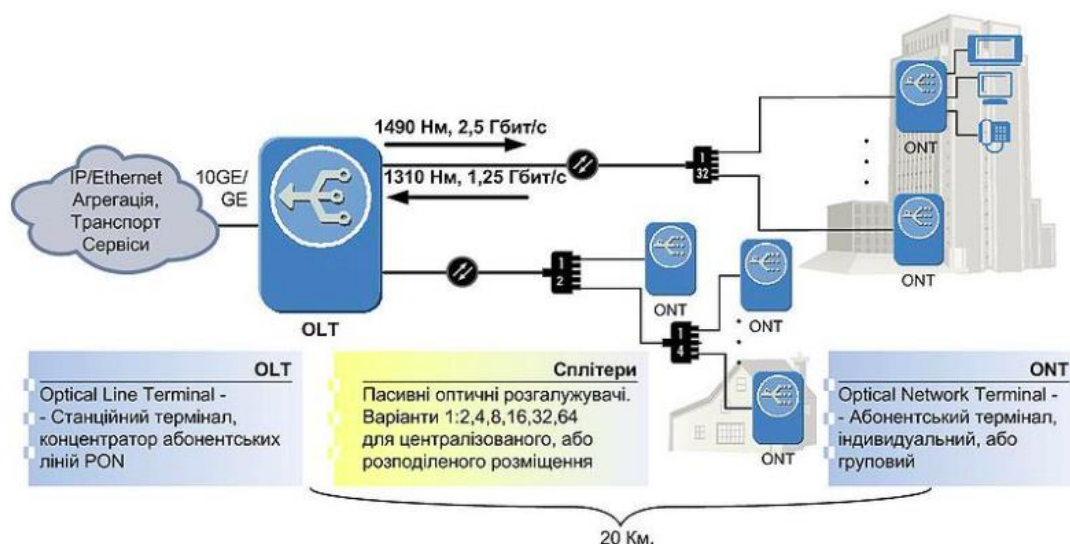


Рисунок 2.1 - Технологія GPON

Тобто активним обладнання в GPON, як і у будь-якій іншій пасивній оптоволоконній мережі доступу, є OLT і ONT. Оптичний сигнал OLT надходить в

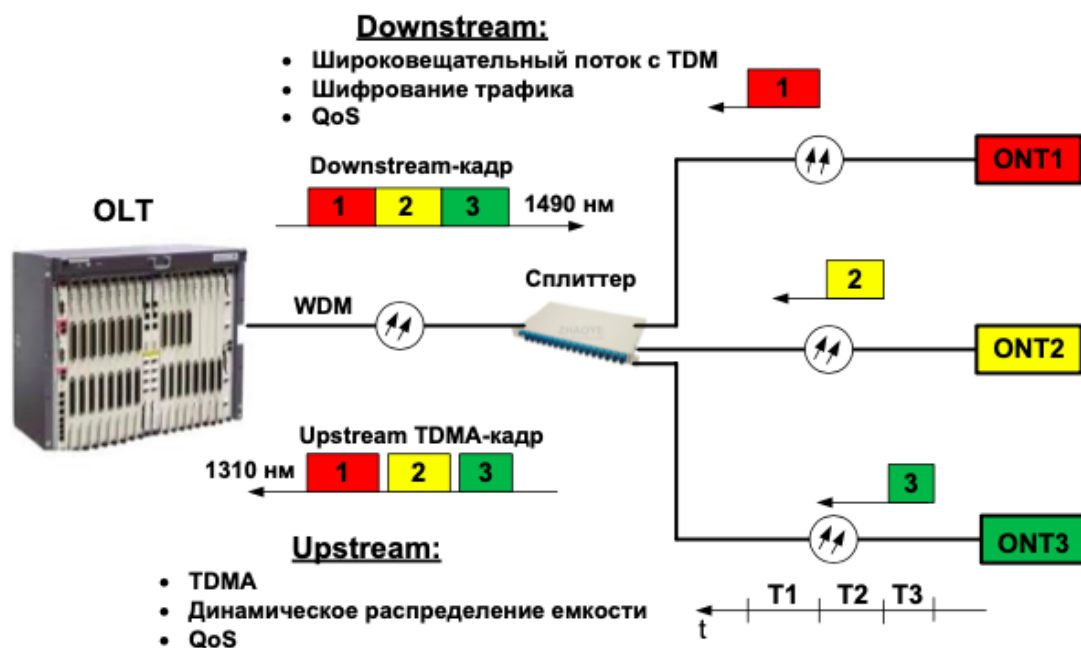


Рисунок 2.3 - Загальний принцип передачі сигналів в GPON

У більшості випадків використовується одноволоконна схема для організації роботи двох напрямків при застосуванні технології WDM. Варто відзначити, що довжини хвиль світлових потоків вибираються виходячи з частотного плану, але найбільш часто використовується довжина хвилі 1490 нм на низхідній ділянці і 1310 нм - на висхідній. Крім того, передбачена можливість передачі багатоканального радіочастотного сигналу цифрового кабельного телебачення на довжині хвилі 1550 нм. Стандарт GPON передбачає цілий ряд швидкостей передачі. Проте, найбільш часто використовуються швидкості 2488,32 Мбіт/с (2,5 Гбіт / с) на низхідній ділянці і 1244,16 Мбіт / с (умовно - 1,25Гбіт / с) - на висхідній.

2.2 Принципи мультиплексування

Система GPON представлена двома рівнями моделі OSI: фізичним і канальним. Завдання фізичного рівня це передача біт загального потоку по оптоволоконному середовищі. Канальний рівень в системі GPON називається TC (Transmission Convergence). Він, в свою чергу, підрозділяється на два підрівні: підрівень формування фреймів GPON TC (GTC) і підрівень адаптації. На рис 2.4. представлені функціональні блоки, що визначають стек протоколів GPON.

Так як окрім призначеного для користувача трафіку система повинна передавати і сигнали управління. Стек протоколів можна розділити на дві групи, а саме

- протоколи, що забезпечують управління потоком даних користувача, безпеку і OAM-функції (Operation, Administration and Maintenance)
- протоколи, що забезпечують передачу призначеного для користувача трафіку

Підрівень формування фреймів GTC формує фрейми, які включають в себе поля для передачі GEM-фреймів, даних керування системою (PLOAM - Physical Layer Operation, Administration and Maintenance) і команд управління протоколу DBA (Dynamic Bandwidth Allocation - динамічного розподілу пропускної здатності GPON).

У підрівні адаптації дані користувача (Users Data) і дані каналу OMCI (ONU Management and Control Interface - інтерфейс управління ONU) упаковуються в GEM фрейми. Для ідентифікації сервісу, переданого конкретним GEM-фреймом, використовується ідентифікатор, який носить назву GEM Port-ID і передається в заголовку GEM-фрейму. GPON TC фрейм може включати в себе один або більше GEM-фреймів (до 4095).

У фреймі GPON TC безпосередньо можуть вводитися також потоки даних мереж ATM. Для них в цьому фреймі відводиться частина місця в полі корисного навантаження.

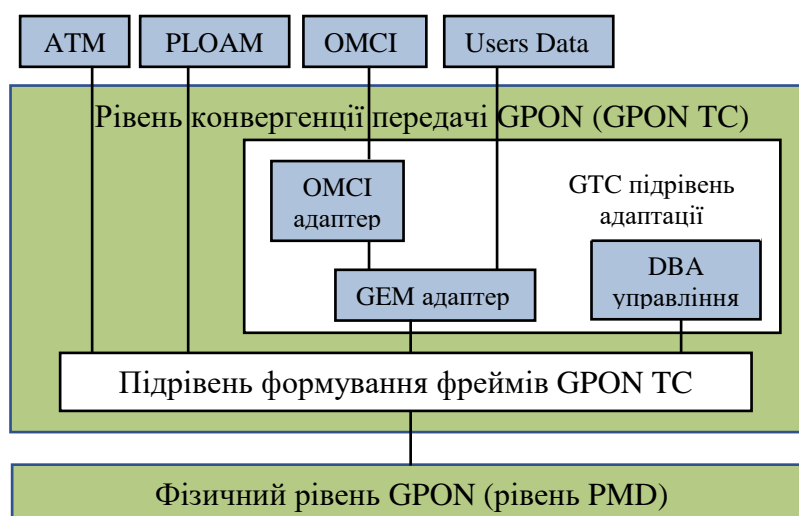


Рисунок 2.4 - Стек протоколів GPON

Завдяки ідентифікації GEM-фреймів організовуються віртуальні канали, що несуть сервіси, до різних ONU. На рис 2.5. представлена схема організації таких віртуальних каналів від OLT до ONU.

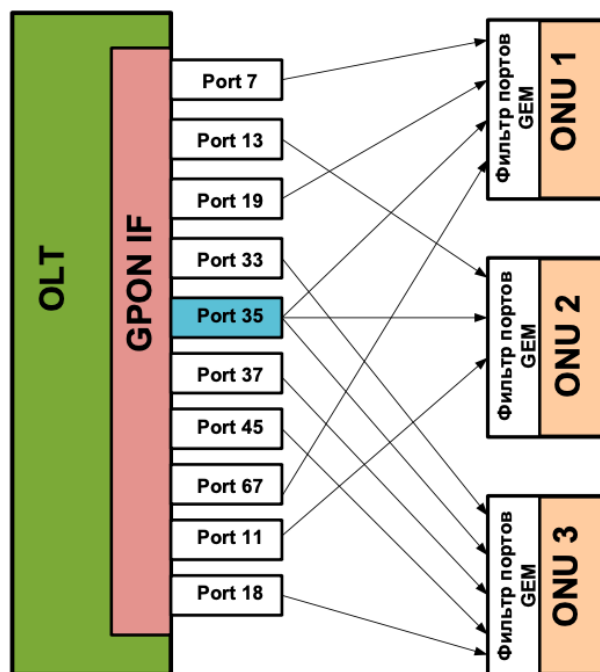


Рисунок 2.5 - Схема організації віртуальних каналів на низхідній ділянці

В OLT відбувається тимчасове мультиплексування фреймів GEM з різними Port-ID в полі корисного навантаження фрейму GPON TC. Кожен ONU має фільтр портів GEM, що дозволяє виділити із загального потоку GEM- фреймів тільки ті, що призначені йому. Таким чином, встановлюються різні віртуальні канали від одного фізичного інтерфейсу OLT до цілого ряду ONU. Як видно з рис 2.5., ONU може мати кілька віртуальних каналів, кожен з яких може нести трафік різних сервісів. Крім того, може організовуватися широкомовний канал (на рис 2.5. - Port 35) до всіх ONU.

Організація передачі на висхідній ділянці представлена на рис 2.6.

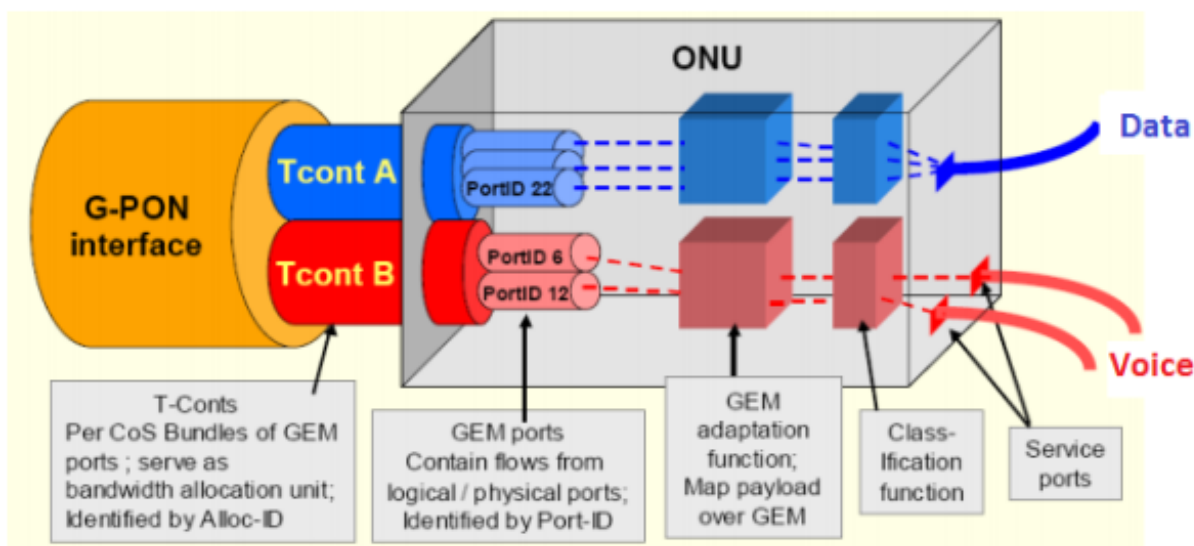


Рисунок 2.6 - Схема організації передачі GPON на висхідній ділянці

Цифрові абонентські потоки надходять через фізичні інтерфейси (Service Ports) на класифікатор (Classification function), де визначається їх пріоритетність або за номером і виду абонентського порту, або на рівні Ethernet, закладеної в TCI (Tag Control Information - IEEE802.1q, IEEE802.1p), або на рівні IP (DSCP - DiffServ Code Point). Через один і той же фізичний порт (наприклад Ethernet) може надходити трафік різних сервісів. Залежно від рівня призначеного пріоритету абонентський трафік розподіляється по буферним регістрам, які організовують своєрідну чергу, ранжируваних за пріоритетами. Як правило використовується 4 регістри, кожен з яких відповідає своєму класу обслуговування (CoS - Class of Service). Далі цифрові послідовності зчитуються з цих регістрів в черговості, яка визначається правилом обслуговування черги. При цьому може використовуватися як жорстке правило (Strict), так і зважене (WFQ - Weighted Fair Queuing). Лічені з різних регістрів цифрові послідовності упаковуються в свої, індивідуальні GEM фрейми з присвоєнням їм унікального Port ID.

2.3 Принципи виділення ємності в розподільчій мережі для роботи ONU/ONT. Протокол DBA

Для передачі сформованих GEM фреймів в сторону OLT використовується одиниця перенесення T-Cont (Transmission container - контейнер передачі), який

являє собою частину фрейму ONU, що містить всі GEM фрейми з однаковим CoS. Таким чином, GEM фрейми різних рівнів пріоритетності передаються своїми T-Cont. У фреймі ONU може бути декілька T-Cont. На рис 2.6. показані два контейнери T-Cont A і T-Cont B, що належать одному ONU і несучих відповідно трафік даних і голосовий трафік.

Для динамічного розподілу пропускної здатності висхідної ділянки між T-Cont, що генеруються різними ONU використовується протокол DBA (Dynamic Bandwidth allocation). За протоколом DBA в полі заголовка GPON TC фрейму низхідної ділянки (GTCd) присутні дані про час початку і закінчення передачі кожного T-Cont, виражене в байтах відносно початку фрейму GTCd. Величина вікна передачі, частота і регулярність його появи для конкретного T-Cont визначається статистикою і пріоритетністю переданого трафіку. Також це залежить і від ступеня активності інших ONU. На рис 2.7. показаний загальний принцип динамічного розподілу пропускної здатності висхідної ділянки між ONU / ONT.

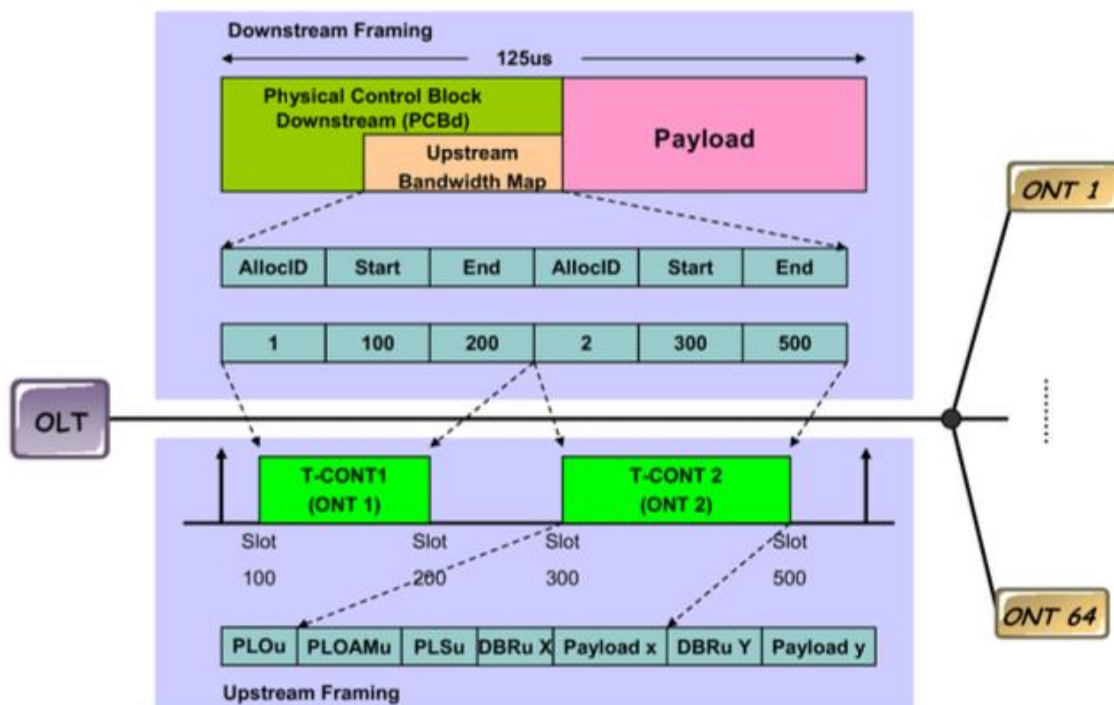


Рисунок 2.7 - Загальний принцип динамічного розподілу пропускної здатності висхідної ділянки

Фрейми, що формують OLT (Downstream Frame), складаються з двох частин:

- PCBd (Physical Control Block Downstream - службовий блок, що виконує ряд функцій фізичного рівня низхідного потоку). У цьому блоці також присутнє поле (Upstream Bandwidth Map), в якому містяться дані про час початку і закінчення передачі T-Cont всіх ONU, включених в даний оптоволоконний порт OLT;
- Payload - поле корисного навантаження, де розміщуються GEM- фрейми для передачі в сторону всіх ONU.

Щоб визначити яку частину пропускної здатності OLT повинен виділити для конкретного T-Cont, в структурі T-Cont присутні дані про обсяг даних, які очікують у черзі для передачі (DBRu - Dynamic Bandwidth Allocation Report). Якщо даних в черзі немає (буфер порожній), то T-Cont містить тільки DBRu, тому OLT в наступному фреймі передачі виділяє вікно тільки для передачі DBRu. Звільнена ємність висхідної ділянки розподіляється між іншими T-Cont, асоційованими з конкретними ONU.

Принцип роботи протоколу DBA показаний на рис 2.8.

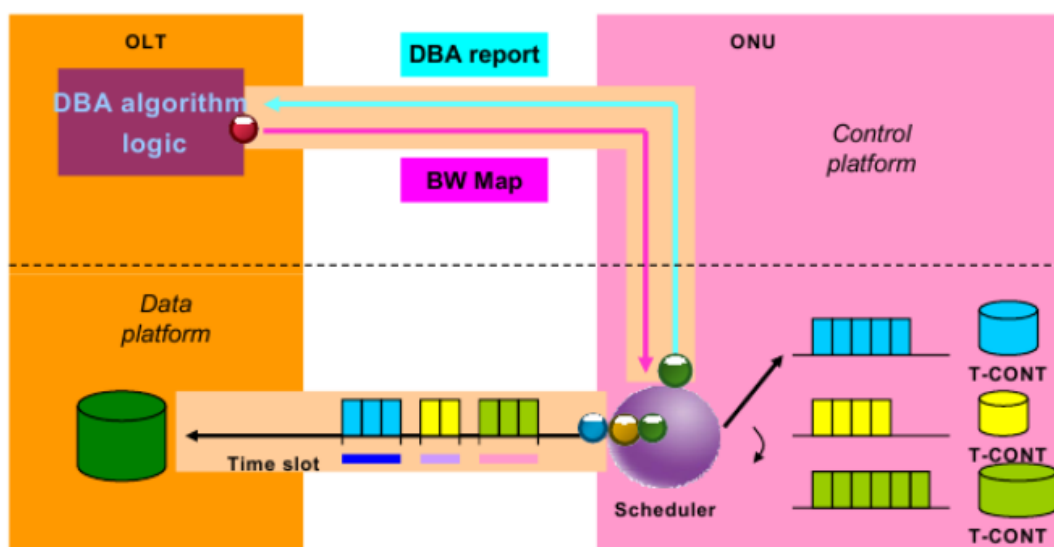


Рисунок 2.8 - Принцип роботи протоколу DBA

Потоки даних різноманітного трафіку, що мають свої пріоритети, зчитуються планувальником (Scheduler) з черг. При цьому ONU в повідомленнях DBA Report

постійно інформує OLT про обсяг трафіку в різних чергах. Виходячи з цього OLT в BW Map вказує виділяему ємність для всіх T-Cont.

Відповідно до протоколу DBA для T-Cont, в залежності від виду трафіку, може виділятися як гарантована ємність, так і додаткова.

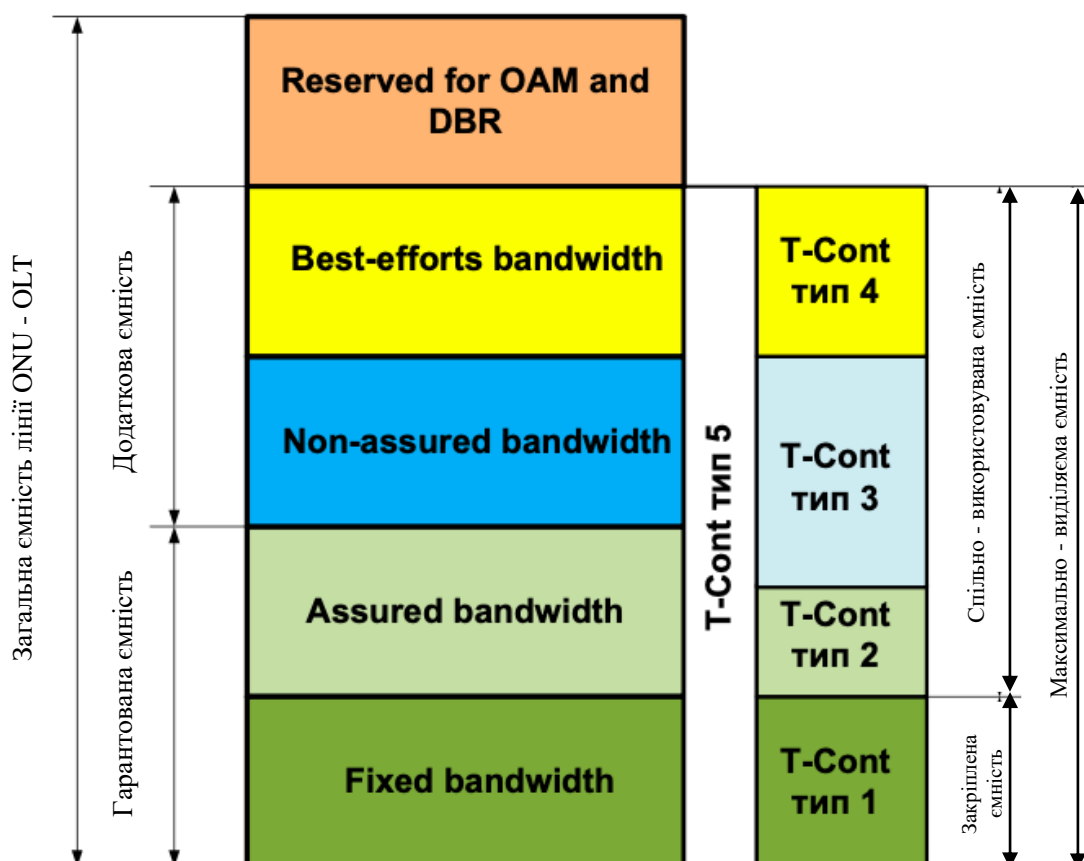


Рисунок 2.9 - Види наданої ємності висхідного ділянки і їх відповідність типам T-Cont.

Розглянемо наступні види виділяємої ємності висхідної ділянки:

- Fixed bandwidth - фіксована гарантована ємність, яка циклічно виділяється незалежно від вимог ONU
- Assured bandwidth - гарантована ємність, але виділяється тільки на вимогу
- Non-assured bandwidth - негарантована ємність, що виділяється на вимогу, якщо доступна

- Best-effort bandwidth - негарантована ємність, що надається за залишковим принципом сервісів з нижчим пріоритетом.
- Maximum - максимально-виділяема ємність

На підставі параметрів якості надання послуг, прописаних в SLA (Service Level Agreement - договір між постачальником послуги та її замовником), в системі для кожного ONU встановлюється правила виділення ємності висхідної ділянки. При цьому береться до уваги і пріоритетність трафіку. На рис 2.10.показано як виділяється ємність і які типи T-Cont використовуються для перенесення даних різних сервісів. Кожен ONU формує вимоги щодо необхідної ємності в сторону OLT у вигляді DBA Report. У відповідь OLT в поле BW map відправляє так званий Grant. Чим більше тривалість і частота появи T-Cont, тим більше виділяється ємність.

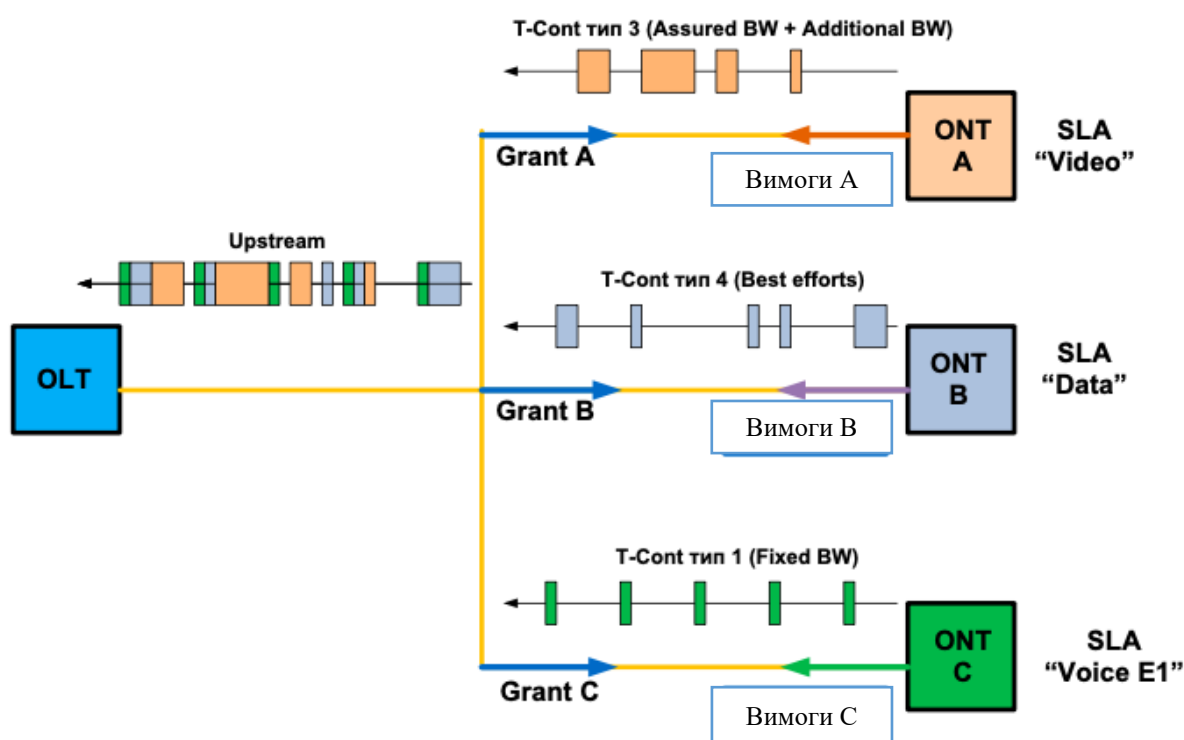


Рисунок 2.10 - Виділення ємності для різних послуг за допомогою механізму DBA

Так ONT C передає трафік офісної АТС в потоці E1 (2 Мбіт / с). Цей потік характеризується постійною швидкістю. Тому для нього строго періодично виділяються тимчасові інтервали у фреймі висхідної ділянки, так, щоб забезпечити

сталість середньої швидкості в 2 Мбіт / с. В межах T-Cont швидкість передачі становитиме 1,25 Гбіт / с.

Для послуги передачі даних ємність надається в даному випадку за найнижчим пріоритетом (Best efforts).

2.4 Структури фреймів на низхідній та висхідній ділянках

Структура фрейму низхідної ділянки показана на рис 2.11.

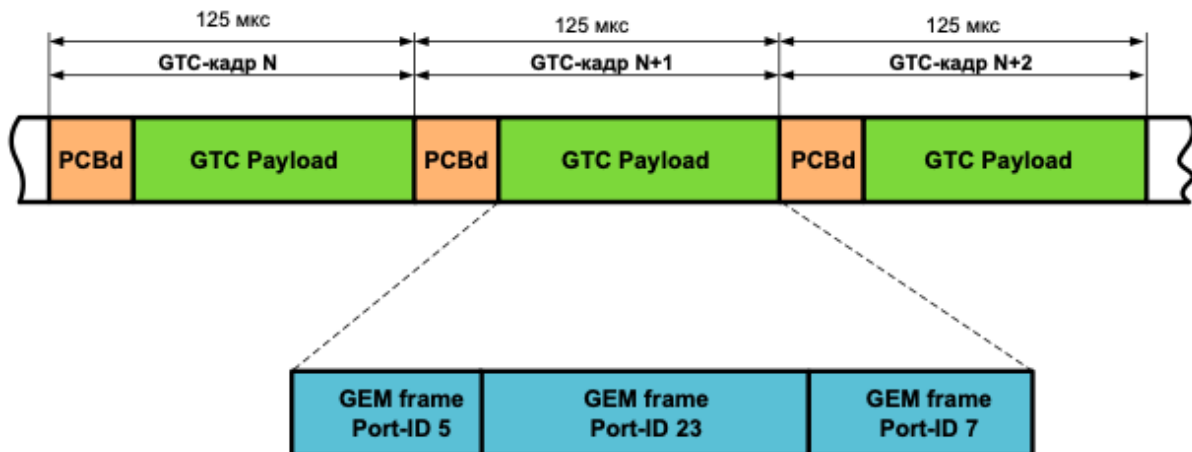


Рисунок 2.11 - Структура фрейму GTCd

Тривалість фрейму GTCd становить 125 мкс, включає в себе заголовок (PCBd) і поле корисного навантаження (GTC Payload). Загальна довжина фрейму GTCd становить 38880 байт, що відповідає швидкості передачі на лінії вниз 2488,32 Мбіт / с. Довжина PCBd залежить від довжини поля Upstream BW map, розміщеному в ньому. Структура заголовка фрейму (PCBd) представлена на рис 2.12.

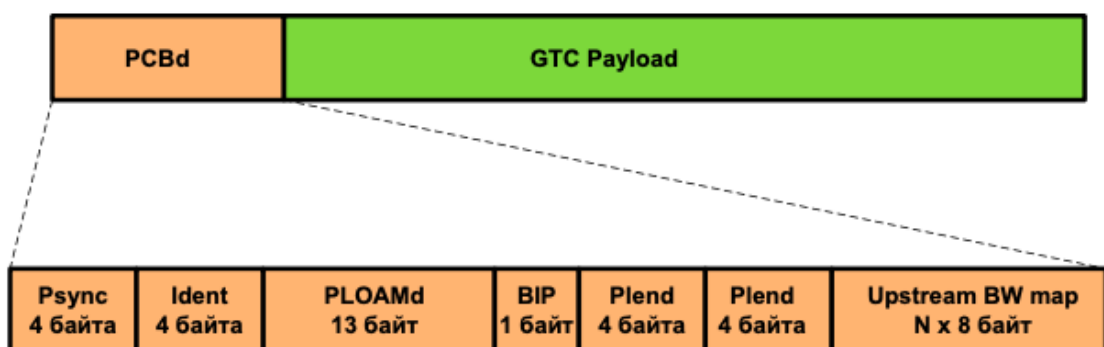


Рисунок 2.12 - структура PCBd

- Поле Psync містить код фреймової синхронізації, що передається в кожному PCVd. Такий код має довжину в 32 біта і детерміновану структуру.
- Поле Ident використовується для організації надциклів з фреймів GTCd, а також для індикації наявності завадостійкого кодування на низхідній ділянці.
- Поле PLOAMd служить для передачі даних в системі управління і моніторингу.
- Поле VIP (Bit-Interleaved Parity) містить 8 біт і служить для передачі перевірочних даних, які обчислюються за певним правилом з біт CTCd фреймів, розташованих між сусідніми полями VIP.
- Поле Plend (Payload Length Downstream) визначає розмір поля Upstream BW map і розмір частини поля корисного навантаження (GTC Payload), що відводиться для передачі АТМ-осередків. Це поле повторюється двічі для зниження ймовірності помилки при прийомі даних.

Перші 12 біт кожного поля використовуються для вказівки довжини поля Upstream BW map, а наступні 12 біт - для визначення розміру частини поля корисного навантаження для передачі АТМ-осередків (при відсутності АТМ - заповнюється нулями). Інші 8 біт - перевірочний циклічний код CRC-8, який вираховується за певним правилом з попередніх 24 біт поля Plend. На прийомі за таким же правилом формуються CRC-8 і порівнюються з прийнятими CRC-8. За результатами порівняння приймається рішення по тому, в якому полі Plend дані більш достовірні і підлягають обробці. Структура TDMA- фрейму висхідної ділянки представлена на рис 2.13.

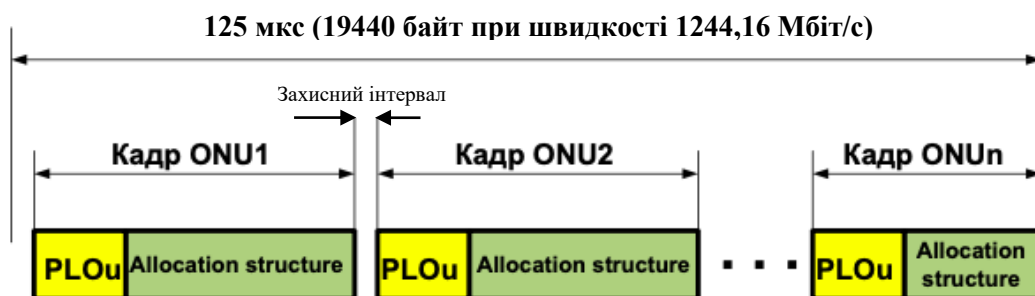


Рисунок 2.13 - Структура TDMA- фрейму висхідної ділянки

TDMA - фрейм має тривалість 125 мкс і при швидкості на висхідній ділянці в 1244,16 Мбіт / с містить 19440 байт. TDMA- фрейм заповнюється фреймами різних ONU, розміри яких, черговість і частота проходження визначаються OLT через вказівку в полі Upstream BW map часу початку і закінчення T-Cont. TDMA- фрейм синхронний з фреймом низхідної ділянки GTCd, так як положення всіх його компонент відраховується від початку фрейму GTCd.

Розмір фрейму ONU і частота його появи в TDMA- фреймах визначають виділену для даного ONU частину ємності висхідної ділянки, максимальне значення якої - 1244,16 Мбіт / с (один працюючий ONU).

Фрейм, що формує ONU, містить заголовок (PLOu - Physical Layer Overhead upstream) і поле, назване Allocation structure, в якому розміщуються T-Cont. Величина цього поля визначається кількістю розташованих у ньому T-Cont і їхньої ємністю.

2.5 Принципи забезпечення QoS

У мережах передачі даних присутній різний тип трафіку, що потребує певної якості обслуговування. Основними параметрами визначення якості зв'язку є:

- Затримка - час, за яке дані доходять від відправника до одержувача.
- Джиттер «тремтіння» - різниця затримок при передачі даних.
- Втрати - кількість пакетів, втрачених під час передачі даних по мережі.
- Смуга пропускання - кількість пакетів, що проходять по мережі за певний період часу.

Щоб забезпечити пріоритетне обслуговування певного типу трафіку, використовують технологію QoS (Quality of Service, рівень сервісу або обслуговування). QoS забезпечує виділену смугу пропускання, контролює затримку і джиттер, а також обмежує втрати даних. Тобто QoS - технологія, яка може гарантувати пропуск в повному обсязі певного виду трафіку в заданих технологічних рамках.

Однією з моделі QoS є Differentiated Service (DiffServ) - весь трафік мережі розділяється на класи і встановлюються правила для їх обробки. В результаті чого кожен клас трафіку отримує різний рівень обслуговування. На всьому шляху проходження трафіку кожен вузол самостійно визначає правила обслуговування, тобто одні й ті ж дані можуть отримати різне обслуговування на своєму шляху. Тепер розглянемо маркування трафіку згідно обслуговування DiffServ. Існує кілька способів промаркувати трафік мережі:

Маркування на 2му рівні - CoS (Class of Service).

На каналному рівні маркування пакетів відбувається відповідно до стандарту 802.1p. Поле CoS займає 3 біти в 4-байтовому заголовку 802.1Q, який містить p-тег, що визначає пріоритет і ідентифікатор VLAN. Всього може бути встановлено до 8 класів обслуговування даних, описаних у стандарті 802.1D. Виходячи з усього цього, необхідною умовою маркування CoS є тегування трафіку за технологією VLAN. Таке маркування QoS можливо тільки в межах локальної мережі, так як при проходженні пакетів крізь маршрутизатор VLAN теги видаляються.

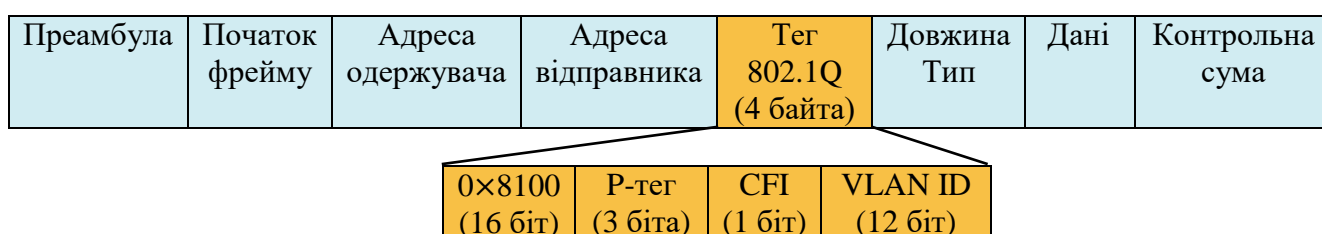


Рисунок 2.14 - Маркування на 2-му рівні - CoS

де 0x8100 - ідентифікатор протоколу маркування (VLAN); P-тег - визначає пріоритет пакета; CFI (Canonical Format Indicator) - ідентифікатор формату MAC-адреси, використовувався для сумісності між мережами Ethernet і Token Ring. В даний час поле CFI не використовується, в зв'язку з відмовою від мереж Token Ring; VLAN ID - Ідентифікатор VLAN. Визначає який VLAN мережі належить пакет.

Маркування на 3 рівні - ToS (Type of Service) / DSCP (Differentiated Services Code Point).

Поле ToS займає 8 біт в заголовку IP та може складатися з ідентифікатора пріоритету (IP Precedence - IPP, 3 біта) або DSCP (6 біт). Спочатку було досить ділити потоки трафіку на 8 класів обслуговування за допомогою IPP, але з часом з'явилася необхідність в більш гнучкій системі розподілу. Так був розроблений метод DSCP, ідентифікатор якого займає 6 біт і містить крім пріоритету пакета значення для вимог до затримок, пропускнуєї спроможності і надійності передачі даних. DSCP дозволяє розділяти потоки на 64 класу, а також має зворотну сумісність з IPP.

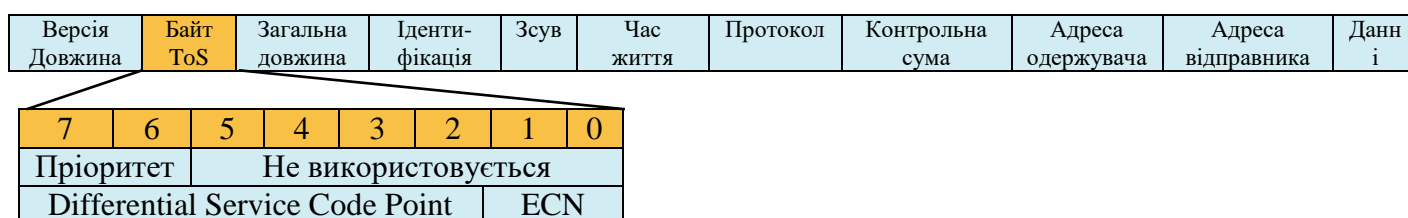


Рисунок 2.15 - Маркування на 3 рівні - ToS

Два варіанти заповнення поля ToS:

1. Пріоритет

2. Differential Service Code Point (DSCP) + ECN

Differential Service Code Point (DSCP) - визначає пріоритет пакета; Explicit Congestion Notification (ECN) - повідомлення про перевантаженість мережі. Використовується рідко, тільки коли обидві сторони погодили використання даної функції.

Отже, основне завдання QoS - забезпечити гарантовану передачу певних пакетів даних непомітно для користувача. QoS може використовуватися всюди: вдома, в офісі, бібліотеці, аеропорту і т.д. [17].

2.6 Завадостійке кодування, захист трафіку, керування мережею доступу

Завадостійке кодування (FEC - Forward Error Correction) з використанням блочного коду Ріда-Соломона (255, 239), де 255 - загальна кількість байт в блоці, а

239 - кількість інформаційних байт, застосовується для підвищення енергетичного бюджету GPON. Обсяг перевірочних біт коду Ріда-Соломона істотно не впливає на інформаційну ефективність системи GPON, так як становить всього 6,3% від загальної кількості біт в блоці.

Збільшити швидкість передачі або відстань між OLT і ONU дозволяє кодування яке забезпечує вигоду в енергетиці (G - gain) оптоволоконної лінії близько 3 ... 4 дБ для коефіцієнта помилок $BER = 10^{-10}$ (рис 2.16.).

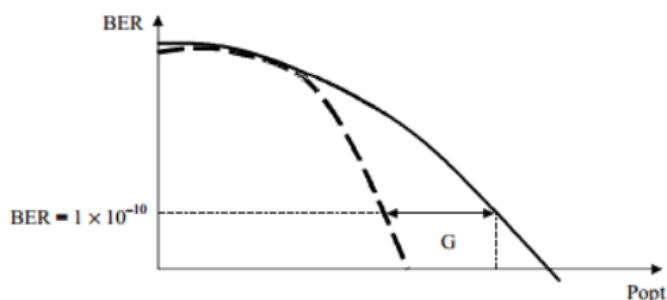


Рисунок 2.16 - Енергетичний вигоду при завадостійкому кодуванні

Вибір блочного кодування, де передаються дані в початковому вигляді, обумовлений тим, що його застосування дозволяє приймати дані на ONU, де в даний момент не використовується кодування.

Слід зазначити, що код Ріда-Соломона погано працює при коефіцієнтах помилки вище 10^{-3} . Тому в таких випадках відбувається генерування додаткових помилок.

У процесі кодування вихідний фрейм низхідної ділянки довжиною в 36432 байт (рис 2.17.) умовно розбивається на 152 блоків по 239 байт і один блок довжиною 104 байт. До кожного блоку відповідно до правила коду Ріда-Соломона додається 16 перевірочних байт. В результаті формується стандартний фрейм довжиною 38880 байт.

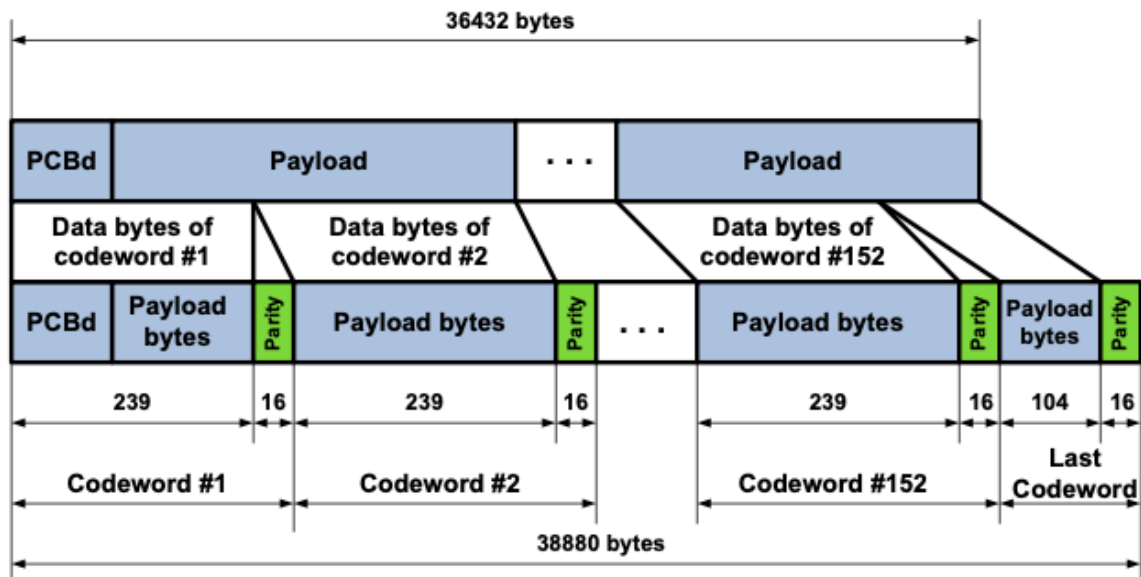


Рисунок 2.17 - Кодований фрейм низхідної ділянки

Захист трафіку забезпечується за рахунок резервування як оптичних волокон, так і обладнання. В рекомендації МСЕ-Т G.983.1 наведено базові варіанти архітектур резервування (рис 2.18.).

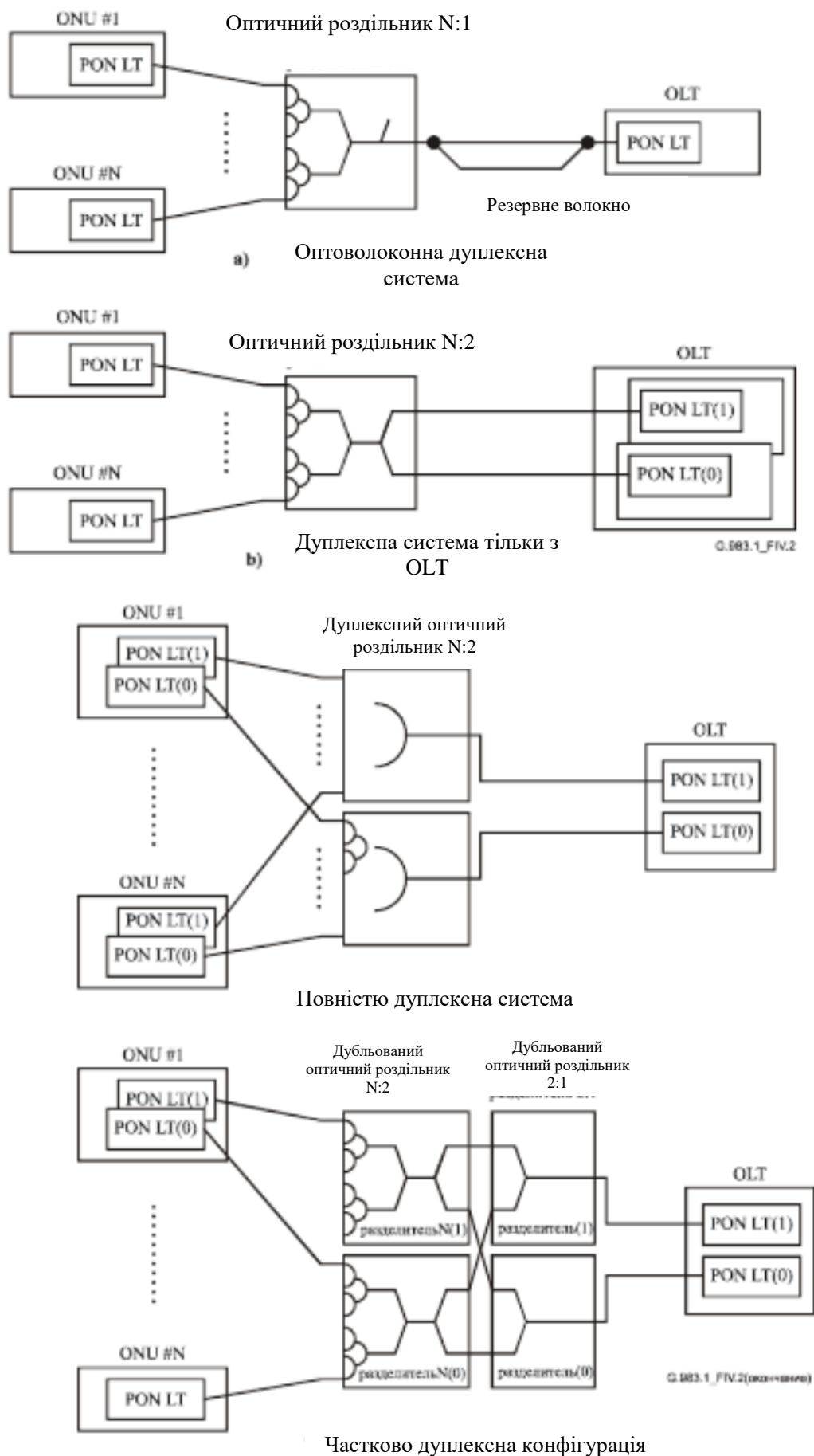


Рисунок 2.18 - Варианты резервирования GPON відповідно до G.983.1

На рис 2.18 відображені 4 типи конфігурації з резервування:

- Тип А: Перша конфігурація дублює тільки оптоволокну. В цьому випадку ONU і OLT містять тільки один лінійний тракт (LT);
- Тип В: Друга конфігурація дублює лінійний тракт OLT і оптоволокну між OLT і оптичним роздільником, а роздільник має два порти входу / виходу на стороні OLT. Ця конфігурація забезпечує 100% резервування ділянки між OLT і спліттером (оптичним роздільником), що важливо для забезпечення працездатності всієї системи. Вихід з ладу окремих ділянок між спліттером і ONU не критичний для роботи системи в цілому. Тому такий варіант є досить економним з точки зору витрат при непоганих показниках надійності системи;
- Тип С: Третя конфігурація дублює пристрої не тільки на стороні OLT, але також і на боці ONU. При цій конфігурації, в разі відмови в будь-якій точці, вона може бути відновлена за допомогою перемикавання на резервні пристрої. Така конфігурація більш витратна, ніж попередня, але забезпечує дуже високу ступінь надійності системи;
- Тип D: У цьому варіанті конфігурації передбачається, що не всі ONU можуть мати дублювання лінійного тракту. Основні відмінності від попереднього варіанту полягають у використанні двох оптичних роздільників на 2 і двох роздільників на N виходів з двома входами. Це дозволяє створити повнозв'язну схему основних і резервних трактів OLT і ONU.

В системі GPON механізм управління включає в себе (рис 2.19.):

- Вбудовану підсистему OAM (Operation, Administration and Maintenance)
- PLOAM (Physical Layer OAM)
- OMCI (ONU Management and Control Interface)

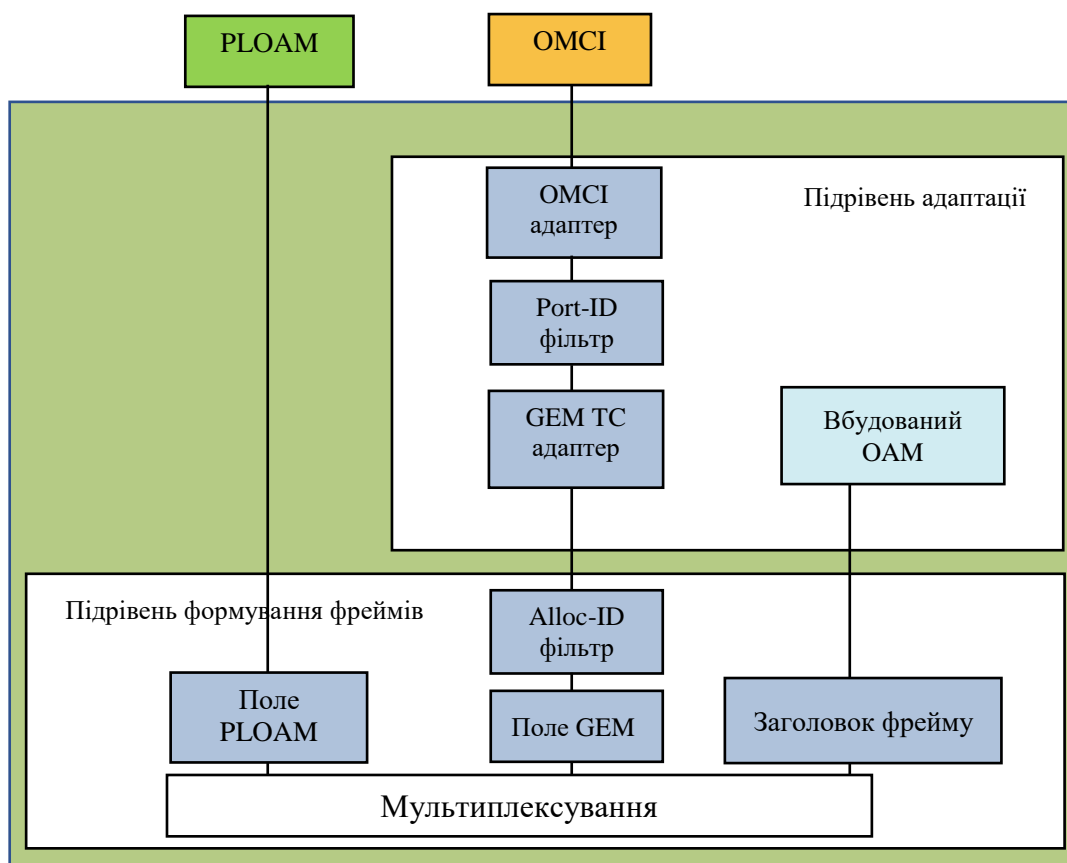


Рисунок 2.19 - Система управління GPON

Вбудований ОАМ виконує три функції в системі управління: виділення необхідної ємності для ONU; обмін криптографічними ключами для шифрування даних низхідної ділянки; динамічний розподіл ємності висхідної ділянки (DBA). Канали для передачі повідомлень в рамках перерахованих функцій організуються в заголовку GTC- фреймі нисхідної ділянки.

PLOAM-повідомлення використовуються для реалізації ряду функцій системи GPON. Вони передаються як на низхідному, так і на висхідному ділянках системи. На низхідній ділянці ці повідомлення інкапсулюються в полі PCBd. На висхідній ділянці PLOAM-повідомлення містяться у заголовку фрейма. Поле PLOAM як низхідного, так і висхідного ділянків містить 13 байт і включає в себе:

ONU-ID 1 байт	Message ID 1байт	Message 10 байт	CRC 16байт
-------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------

Де ONU-ID використовується для ідентифікації ONU, якому адресовані повідомлення. Значення 0xff в цьому полі означає, що повідомлення є широкомовним, тобто призначене всім ONU; Message ID відображає тип повідомлення; Message - власне повідомлення PLOAM; CRC - перевірна послідовність.

OMCI описаний в рекомендації MCE-T G.984.4 і використовується для управління і моніторингу ONT / ONU. Для реалізації цієї функції OMCI використовує спеціальний канал між OLT і ONU, який називається ONT Management and Control Channel (OMCC).

OMCI- повідомлення передаються в спеціальних фреймах GEM в режимі ведучий / ведений (master-slave). OMCI «бачить» ONT як безліч керованих об'єктів (managed entities), з яких він функціонально складається (рис 2.20.). База по цих об'єктах управління зберігається в OLT.

Для організації управління використовуються інформаційні бази управління (MIB - Management Information Base), що містять всі параметри управління та моніторингу для всіх об'єктів управління ONT. OMCI уможлиблює конфігурувати і моніторити всі ONU / ONT на стороні OLT.

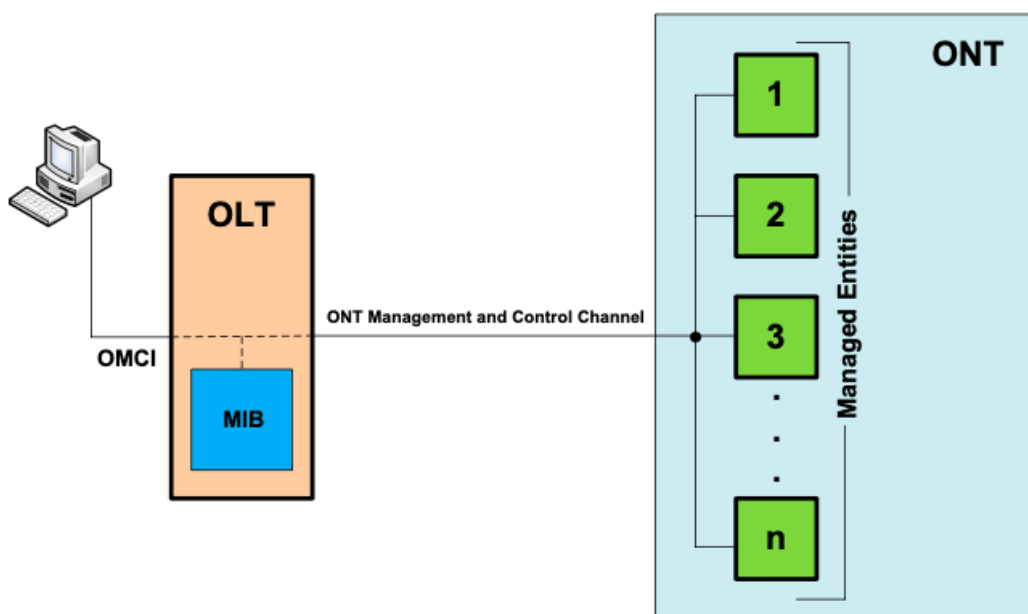


Рисунок 2.20 - Загальний принцип OMCI

2.7 Висновки з розділу 2

1. Gigabit Passive Optical Network є пасивною оптичною мережею, яка складається з станційного терміналу OLT, абонентського терміналу ONT, сплітерів та розвиває швидкість передачі даних до 1000 Мбіт/с.

Також стандарт GPON передбачає цілий ряд швидкостей передачі, але найчастіше використовуються швидкості 2488,32 Мбіт/с на низхідній ділянці і 1244,16 Мбіт / с - на висхідній.

2. TC підрозділяється на два підрівні, а саме підрівень формування фреймів GPON TC і підрівень адаптації. Це дає змогу кожному ONU за допомогою фільтру портів GEM виділити із загального потоку GEM-фреймів тільки ті, що призначені йому.

3. Протокол DBA використовується для динамічного розподілу пропускної здатності висхідної ділянки між T-Cont, що генеруються різними ONU. Кожен ONU в свою чергу формує вимоги щодо необхідної ємності в сторону OLT у вигляді DBA Report.

4. Тривалість фрейму на низхідній ділянці становить 125 мкс та включає в себе заголовок (PCBd) і поле корисного навантаження (GTC Payload), а загальна довжина фрейму GTCd становить 38880 байт.

На висхідній ділянці - 19440 байт та включає в себе заголовок (PLOu) і поле (Allocation structure), в якому розміщуються T-Cont.

5. Технологія QoS забезпечує виділену смугу пропускання, контролює затримку і джиттер, а також обмежує втрати даних, тобто має можливість гарантувати пропуск в повному обсязі певного виду трафіку в заданих технологічних рамках.

6. Завадостійке кодування (FEC) відбувається з використанням блочного коду Ріда-Соломона (255, 239), що дозволяє збільшити швидкість передачі або відстань між OLT і ONU. Захист трафіку забезпечується за рахунок резервування оптичних волокон або обладнання. А механізм управління складається з: вбудованої підсистеми OAM, PLOAM та OMCI.

3 МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ ЗА СТАНДАРТАМИ IEEE

3.1 Принципи функціонування мереж GE-PON. Структура модифікованих фреймів Ethernet.

Ethernet PON (GE-PON) є мережею, що базується на PON, яка транспортує дані, інкапсульовані в Ethernet-фрейми (визначено стандартом IEEE 802.3). При цьому використовується канальне кодування 8B / 10B (8 призначених для користувача біт перетворюються в 10 канальних).

Мережі GE-PON на відміну від GPON, де трафік інкапсулюється в GEM-фрейми, забезпечують передачу трафіку, інкапсульованого в Ethernet-фрейми, визначені стандартом IEEE 802.3. Швидкість передачі стандартна для Ethernet становить 1 Гбіт/с як на висхідній, так і на низхідній ділянці. Стандарт GE-PON знайшов широке поширення в корпоративному сегменті, а також там, де присутні тільки IP-сервіси. Зважаючи на відсутність в процесі передачі будь-яких складних перетворень фреймів Ethernet, несучих IP-трафік, вартість обладнання GE-PON нижче, ніж GPON.

Стандарт IEEE 802.3 визначає дві базові конфігурації для Ethernet-мережі. Перший з них і найбільш поширений в локальних мережах - це використання загального середовища передачі. Для виключення тимчасових перетинів фреймів від різних джерел використовується протокол CSMA / CD (the Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). В іншій конфігурації станції можуть бути з'єднані за принципом «точка-точка». Мережі GE-PON використовують комбінацію цих підходів.

На низхідній ділянці (рис 3.1.) Ethernet-фрейми передаються OLT через 1: N сплітери і досягають всіх ONU. Це відповідає конфігурації з використанням загального середовища. Так як Ethernet-технологія сама по собі спочатку є широкомовною, то на низхідній ділянці поділ трафіку між ONU може відбуватися на основі стандартного принципу по MAC-адресам.

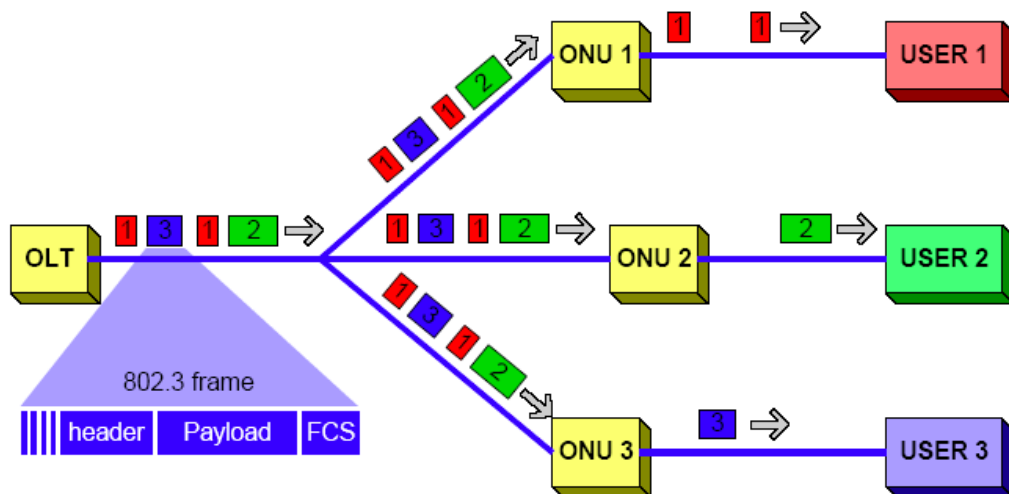


Рисунок 3.1 - Передача трафіку GE-PON на низхідній ділянці

На висхідній ділянці, у зв'язку з спрямованими властивостями спліттерів, фрейми будь-якого з ONU будуть досягати тільки OLT, тобто ONU не "бачать" один одного, а, значить, механізм доступу CSMA / CD в мережі ONU не може бути застосовний. Таким чином, фрейми всіх ONU можуть перетинатися в часі, що призведе до колізій. Для вирішення цієї проблеми необхідний якийсь арбітражний механізм, з одного боку виключаючи колізії при роботі безлічі ONU, а з іншого боку забезпечуючи ефективне використання ємності висхідної ділянки.

Одним з рішень може бути виявлення колізій фреймів ONU самим OLT та інформування про це ONU шляхом передачі сигналу «Jam» (перешкода). Однак, зважаючи на відносно великі затримки при поширенні сигналів в PON, де відстані досягають 20 км, така схема буде працювати неефективно, тому що сигнали «Jam» будуть значно запізнюватися, а за цей час можуть пройти цілий ряд фреймів ONU без дозволу колізії. Механізми арбітражу, засновані на статистичних даних, також погано підходять, так як не дають 100% гарантій того, що ONU може отримати доступ до середовища в потрібний момент, особливо, якщо передається мультисервісний трафік.

Система GE-PON повинна гарантувати мінімальні і стабільні в часі затримки для таких чутливих сервісів як Voice і Video. Тому за аналогією з GPON використовується TDMA-доступ до загального середовища на висхідній ділянці з

використанням механізму розподілу ресурсу пропускної здатності на вимогу, аналогічно з DBA системи GPON.

На рис 3.2 показаний загальний принцип TDMA-доступу в системі GE-PON.

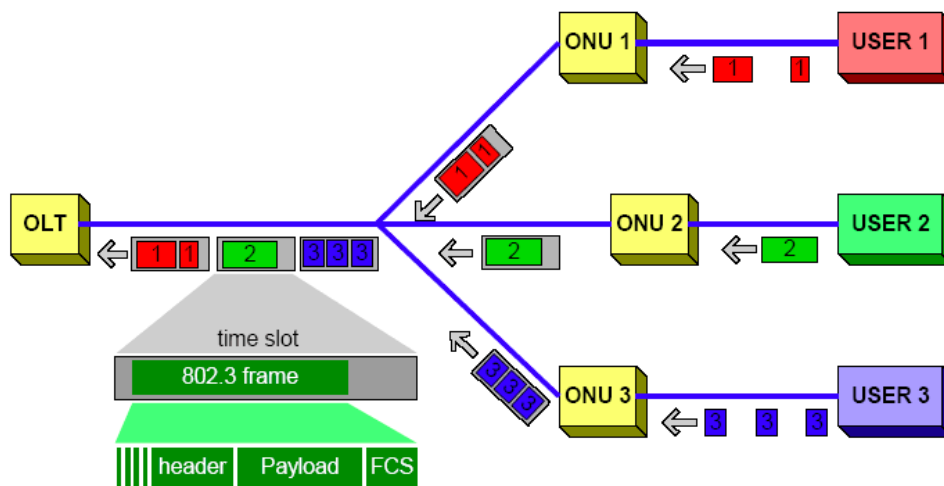


Рисунок 3.2 - Загальний принцип TDMA-доступу на висхідній ділянці

Всі ONU синхронізуються від одного джерела, яким зазвичай є OLT. Кожному ONU для передачі фреймів виділяється свій часовий інтервал (timeslot). У виділеному часовому інтервалі може розміщуватися кілька Ethernet-фреймів. Кожен ONU накопичує в буфері фрейми Ethernet від користувачів до тих пір, поки не настане часовий інтервал для передачі. Як тільки такий інтервал настає, ONU передає накопичені фрейми з повною швидкістю передачі висхідної ділянки (для GE-PON - 1 Гбіт / с). Якщо дані для передачі відсутні, то у виділеному часовому інтервалі будуть передаватися 10-бітові «порожні» символи.

Можливі схеми виділення часових інтервалів можуть варіюватися від статичних (fixed TDMA) до динамічних адаптивних схем, заснованих на розмірах черги для передачі в кожному ONU. Також можливий облік пріоритетності переданого трафіку (QoS), даних за якісними показниками, визначених у SLA (Service Level Agreement) і ін.

Децентралізовані підходи при динамічному призначенні тимчасових інтервалів також можливі. У цьому випадку існує черговість передачі для всіх ONU, але кожен ONU тут вирішує, чи буде він передавати дані і якщо так, то, як довго.

ONU, перед тим як посилати дані, передає спеціальне повідомлення-оголошення, що інформує про те скільки байт даних буде передано. Наступний в черзі ONU приймає оголошення попереднього ONU і визначає час своєї передачі, так, щоб дані прийшли на OLT точно після даних попереднього. При цьому не буде ніяких колізій і втрат у використанні ємності висхідної ділянки. Однак, така схема має істотне обмеження, так як вимагає зв'язності між усіма ONU.

Це накладає певні обмеження в топологію PON: мережа повинна мати кільцеву топологію або бути представленою як ширококомовна зірка, де кожен ONU повинен з'єднуватися з OLT окремим волокном. Ця вимога не бажана, так як може знадобитися будівництво великої кількості волокон. Переважний же алгоритм повинен підтримувати будь-яку топологію PON точка-багатоточка.

В оптоволоконних мережах доступу, побудованих за принципом PON, забезпечує зв'язність OLT з кожним ONU (низхідну ділянку) і кожного ONU з OLT (висхідну ділянку). Це вірно для всіх топологій PON.

Отже, OLT є єдиним пристроєм, який може здійснювати арбітраж для динамічного розподілу пропускну здатності висхідної ділянки між ONU.

Для цього OLT повинен знати стан буфера, пріоритетність трафіку кожного ONU і можливо інші параметри, що впливають на розподілення часових інтервалів. Імпульсивність інформаційного трафіку заважає передбаченню рівня заповнення буфера з прийнятною точністю. Одним з рішень може бути використання схеми, що базується на обміні повідомленнями Grant і Request. Запити (Requests) надсилаються ONU, щоб повідомити про зміну стану ONU, наприклад, обсягу буферизованих даних. OLT обробляє всі запити і привласнює різні часові інтервали для ONU. Повідомлення ONU про присвоєння тимчасових інтервалів передаються OLT за допомогою повідомлень Grant (дозвіл).

Відомо, що в межах однієї локальної мережі обмін фреймами відбувається по MAC-адресам з використання Ethernet-комутаторів. Таким чином, для обміну фреймами між ONU необхідно встановлювати Ethernet-комутатор, і єдиним місцем його установки є OLT, куди приходять фрейми всіх користувачів системи. Однак, фрейми різних користувачів не рознесені по різним фізичним ланцюгах, тобто

будуть приходити на один і той же порт комутатора. Ethernet-комутатори ніколи не повертають фрейми на порт, куди вони увійшли, а комутують їх на інші порти відповідно до MAC-таблиці. Тому для роботи Ethernet- комутатора потрібно фізично розділити фрейми Ethernet користувачів, щоб завести їх на різні порти комутатора. В іншому ж випадку для обміну даними між ONU необхідно використовувати механізми 3-го рівня моделі OSI, тобто маршрутизатори.

Для вирішення завдання комутації фреймів у Ethernet-комутаторі необхідно виконати емуляцію з'єднання «точка-точка» для всіх користувачів системи. При цьому таке з'єднання має забезпечити постійне підключення абонентського пристрою користувача, наприклад, комп'ютера, до певного порту Ethernet-комутатора OLT. Таке з'єднання може бути реалізовано як логічний ланцюг за рахунок додавання в Ethernet-фрейма ідентифікатора цього ланцюга. На рис 3.3. показаний вихідний фрейм Ethernet і його модифікація відповідно до стандарту IEEE 802.3ah. З малюнка видно, що заголовок фрейму змінюється і замість преамбули і SFD (Start Frame Delimiter) вводяться нові компоненти:

- SOP (Start of Packet) - 1 байт, вказує на початок фрейму;
- Резервне поле, 4 байта - може використовуватися для ідентифікації ключа шифрування;
- LLID (Logical Link Identifier) - 2 байта, вказує індивідуальний ідентифікатор логічного з'єднання. LLID потрібно для емуляції з'єднань точка-точка і точка-багатоточка в мережі GE-PON. Перший біт поля вказує режим передачі фрейму (unicast або multicast). Unicast емулює з'єднання «точка-точка», а Multicast - з'єднання «точка-багатоточка». Решта 15 біт є власне номером логічного з'єднання;
- CRC (Circle Redundancy Check) - 1 байт, контрольна сума по преамбулі (стандарт P802.3ah).

У певному сенсі, починаючи зі стандарту дуплексного (full duplex) Ethernet IEEE 802.3X, обмеження на мінімальну довжину фрейма 64 байта застаріло. А починаючи зі стандарту Fast Ethernet (100BASE-FX / TX), коли прийом сигналу на фізичному рівні став синхронним (на відміну від Ethernet 10 Мбіт / с), застарілими стали міжфреймовий інтервал (12 байтів) і велика преамбула фрейму (8 байтів).

Технологія GE-PON використовує ресурс, який було вивільнено. При передачі фреймів Ethernet через мережу GE-PON не відбувається їх фрагментації. Але це не означає, що не відбувається взагалі ніяких змін. Преамбула стандартного фрейму Ethernet, рис. 3.3а, модифікується додаванням кількох службових полів, рис. 3.3б:

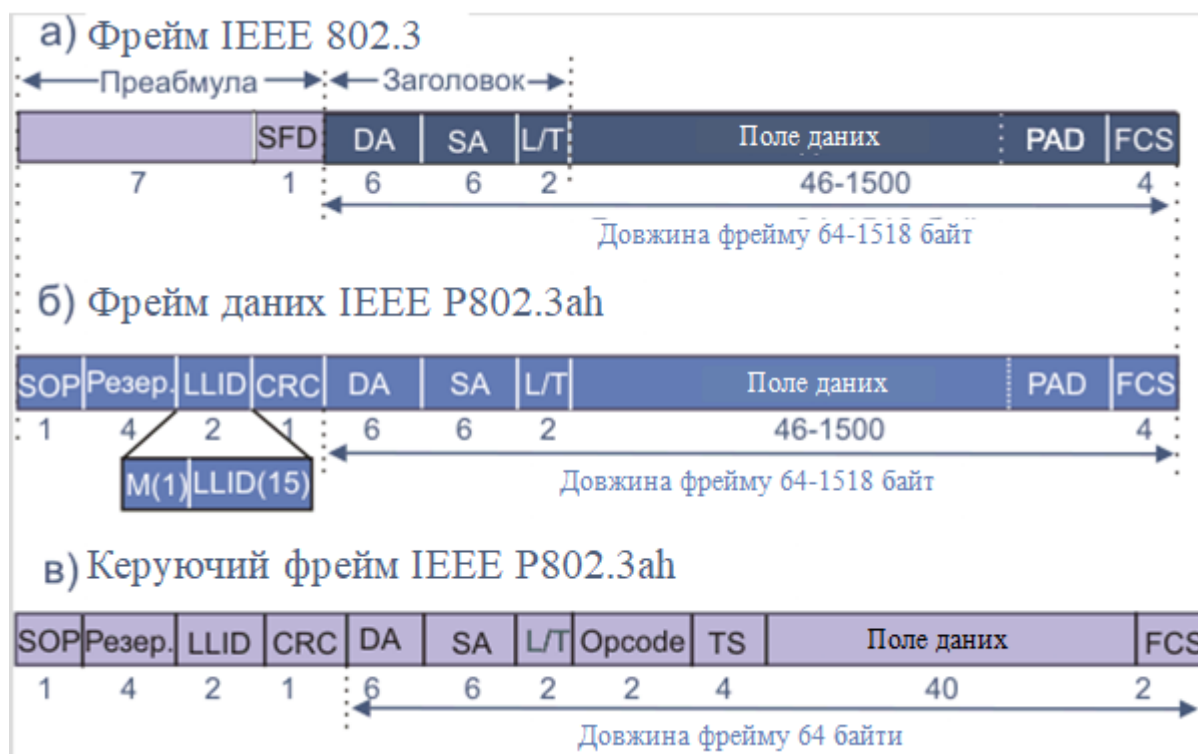


Рисунок 3.3 - Формат фрейму Ethernet для створення логічних з'єднань

Інші компоненти фреймів Ethernet є стандартними і відповідають IEEE 802.3:

- DA (Destination Address) - MAC-адреса одержувача, 6 байт
- SA (Source Address) - MAC-адреса джерела, 6 байт
- L / T (Length / Type) - довжина або тип фрейму, 2 байта
- PAD - наповнювач, який може використовуватися для збільшення фрейму до мінімального розміру
- FCS (Frame Check Sequence) - контрольна послідовність, 4 байта
- opcode (optional code) - 2 байта, уточнює тип керуючого фрейму. Існують дві категорії керівників фреймів, що відрізняються значенням цього поля: повідомлення GATE, що генерується OLT, і повідомлення REPORT, що генерується ONT.
- TS (Time Stamp) - 4 байта, містить тимчасову мітку відправника.

– message - 40 байтів, власне в цьому полі міститься службова інформація, необхідна для роботи протоколу MPCP.

При виході фрейму з мережі GE-PON його преамбула перетвориться до стандартного вигляду. ONT в нормальному режимі роботи, тобто коли вже він зареєстрований, обробляє тільки ті фрейми від OLT, LLID яких збігаються з LLID, прописаними в його базі даних [18].

3.2 Принципи виділення ємності термінальним пристроям, протокол MPCP

В системі GE-PON використовується централізований динамічний розподіл часових інтервалів між ONU. Тому, що OLT знає стан всієї мережі і оперативно реагує на потреби в передачі кожного з ONU, а йому в свою чергу не потрібно контролювати стан мережі або погоджувати будь-які параметри.

Для реалізації такого розподілу використовується протокол MPCP (Multi Point Control Protocol), розроблений групою IEEE 802.3ah.

Цей протокол базується на двох повідомленнях Ethernet: GATE і REPORT. Повідомлення GATE посиляється від OLT до ONU і використовується для присвоєння тимчасового інтервалу. Повідомлення REPORT використовується ONU для інформування OLT про свій стан (наприклад, наповненість буфера і т.д.), щоб допомогти йому прийняти правильне рішення про виділення тимчасового інтервалу. Повідомлення GATE і REPORT є фреймами управління MAC-рівня. Повідомлення GATE містить дані про початок і тривалість виділених інтервалів для конкретного логічного каналу (рис 3.4.)

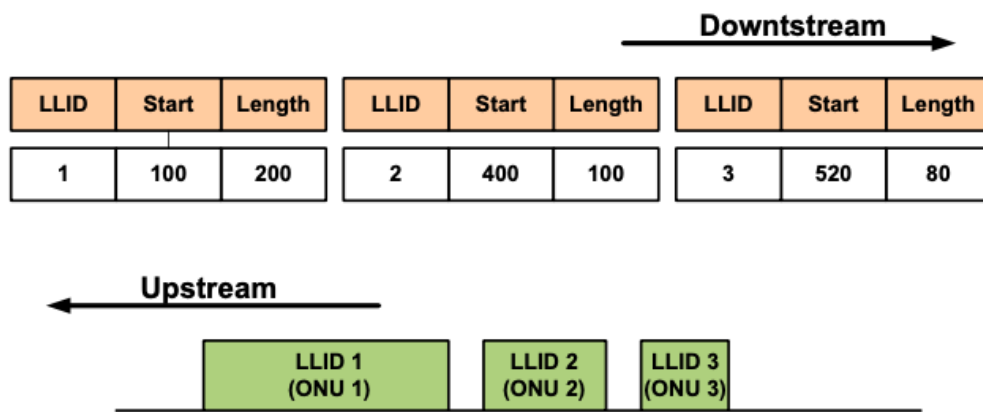


Рисунок 3.4 - Принцип виділення часових інтервалів в GE-PON

Існує два режими роботи MPCP: автодетектування (ініціалізація) і звичайна робота. Режим автодетектування використовується для виявлення знову підключених ONU і визначення RTT (Round Trip Time - кругова затримка сигналу) і MAC-адреси цього ONU. Так само можливе визначення ще деяких додаткових параметрів, якщо потрібно. Нормальний же режим використовується для присвоєння тимчасових інтервалів всім ONU, що ініціалізуються. Так як в ініціалізації можуть потребувати більше одного ONU одночасно, автодетектування є процедурою, яка передбачає конкуренцію.

Це здійснюється наступним чином:

- OLT виділяє стартовий часовий інтервал, коли неініціалізованому ONU дозволено здійснити передачу. Тривалість цього тимчасового інтервалу ініціалізації повинна бути, принаймні, рівною ($\text{transmission size} + \text{maximum round-trip time} - \text{minimum round-trip time}$), де transmission size дорівнює розміру вікна передачі ($\text{transmission window}$), яке ініціалізує ONU може використовувати;
- OLT посилає ініціююче повідомлення GATE, яке повідомляє про початок ініціалізації тимчасового інтервалу і його тривалості. При передачі цього повідомлення на більш високий протокольний MAC-рівень, MPCP присвоїть йому тимчасову мітку, пов'язану з його локальним часом;
- Тільки неініціалізовані ONU відгукнуться на повідомлення ініціалізації GATE. Після отримання ініціалізації повідомлення GATE, ONU встановить місцевий час відповідно до отриманої з GATE тимчасовою міткою;

- Коли локальний годинник, розміщений в ONU, вказує на початок часу ініціалізації, ONU передає своє повідомлення (REPORT ініціалізації). Повідомлення REPORT буде містити адресу ONU і тимчасову мітку, що характеризує місцевий час ONU, коли було послано повідомлення REPORT;
- Коли OLT отримує REPORT від неініціалізованого ONU, він визначає його MAC-адресу та RTT. Як показано на рис 3.5., RTT для ONU дорівнює різниці часів отриманого повідомлення REPORT, отриманого OLT і тимчасової мітки, що міститься в REPORT.

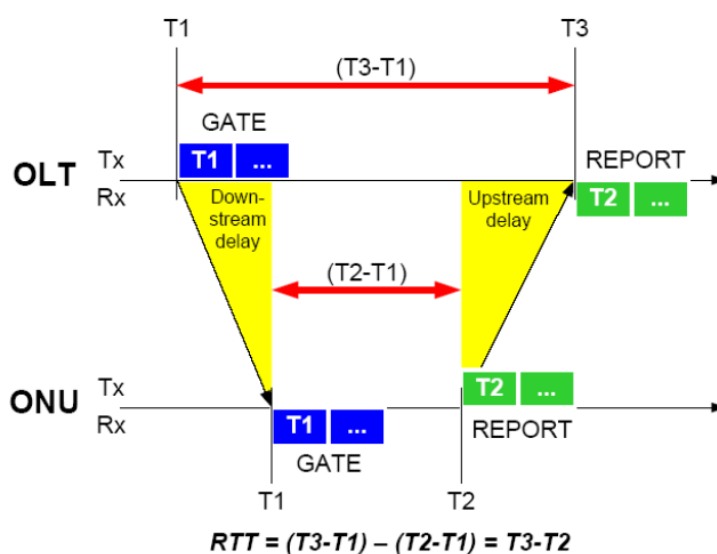


Рисунок 3.5 - Вимірювання RTT

Так як кілька неініціалізованих ONU можуть відгукнутися на одне і те ж повідомлення GATE, повідомлення REPORT можуть стикатися. В цьому випадку ONU, чий REPORT зіткнулися, не отримають тимчасового домену. Якщо ONU не отримає часовий інтервал в межах таймауту, він буде знати, що сталося зіткнення, і спробує повторити ініціалізацію, пропустивши випадкове число ініціалізацій повідомлень GATE. При повторних зіткненнях псевдовипадкова витримка подвоюється.

Важливо зауважити, що MPCP не пов'язаний ні з якою конкретною схемою виділення смуги пропускання; він є протоколом, який забезпечує транспортування таких рішень від OLT до ONU.

Алгоритм нормальної роботи MPCP:

1. Від вище розташованого рівня (клієнт управління MAC), MPCP отримує запит для передачі повідомлення GATE відповідному ONU з наступною інформацією: час, коли ONU повинен почати передачу і тривалість цієї передачі (рис 3.6.).
2. MPCP рівень (в OLT і кожному ONU) підтримує роботу годин. Після передачі повідомлення GATE від вищого рівня до MAC, MPCP формує тимчасову мітку на основі свідчення свого годинника.
3. Після отримання повідомлення GATE з MAC-адресою, відповідним ONU, він запрограмує локальні реєстри на заданий час початку і тривалості передачі. ONU також перевірить, чи відповідає час приходу повідомлення GATE тимчасовій мітці, що міститься в повідомленні. Якщо різниця значень перевищує деякий заздалегідь встановлений поріг, ONU передбачає, що втрачена синхронізація, і перейде в неініціалізований режим. В цьому режимі ONU заборонено здійснювати передачу. Він буде моніторити вхідний трафік, очікуючи наступного ініціалізації повідомлення GATE.
4. Якщо час отримання повідомлення GATE відповідає значенню тимчасової мітки, що міститься в повідомленні GATE, ONU поправить свій годинник згідно з отриманою тимчасовою міткою. Коли показання локальних годин досягне значення 'початок передачі', ONU почне передачу. Цей процес може включати в себе пересилання декількох фреймів Ethernet. ONU гарантує, що фрейми не будуть фрагментовані. Якщо черговий фрейм вже не укладається в час, що залишився домену передачі, пересилання фрейму буде відкладена до настання чергового тимчасового домену.

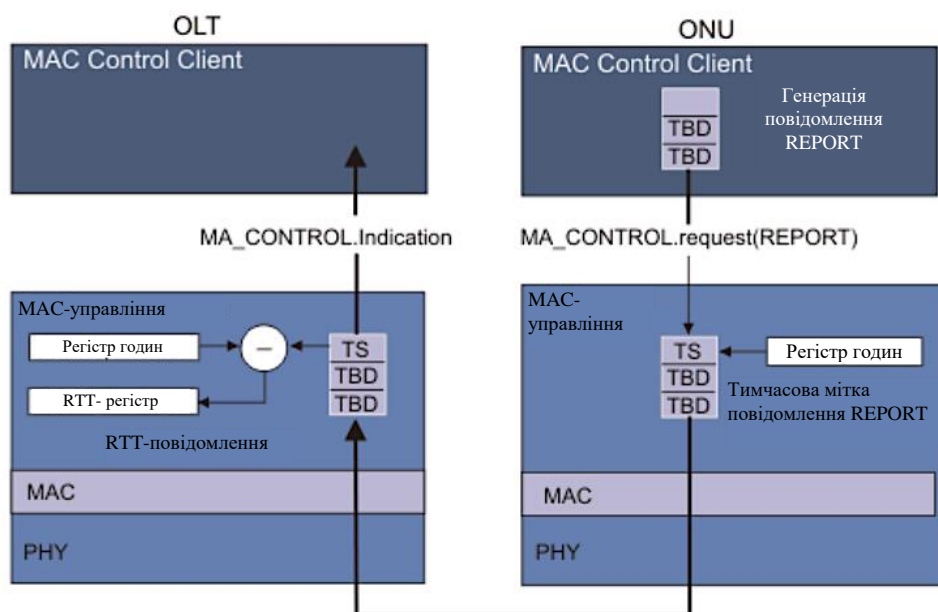


Рисунок 3.7 - MPCP – робота REPORT

Отже, за допомогою протоколу MPCP вдалося реалізувати ефективний розподіл ємності висхідної ділянки між ONU, але зважаючи на специфіку технології Ethernet залишається проблема обміну фреймами Ethernet користувачами однієї локальної мережі, підключеними до різних ONU. Це пов'язано з тим, що ONU, враховуючи спрямовані властивості спліттерів, і використання різних довжин хвиль висхідної і низхідної ділянок, фізично не пов'язані один з одним. Єдиним спільним, але знову ж таки односпрямованим середовищем, є волокно від спліттера до OLT.

3.3 Порівняння GPON та GE-PON

Отже, подібностями технологій GPON і GE-PON є те, що:

- Обидві мають Optical Line Terminal (OLT) як центральний вузол мережі;
- Обидві використовують пасивні оптичні сплітери в оптичній розподільній мережі (ODN - Optical Distribution Network);
- Обидві мають безліч ONU або ONT, що розміщуються в приміщеннях користувачів;
- Обидві використовують WDM для поділу висхідного і спадного напрямків передачі в одному волокні;

- Обидві використовують однакові довжини світлових хвиль (Downstream -1490нм, Upstream -1310нм). Для 10GE-PON і XG-PON використовуються довжини хвиль: Downstream - 1260-1280 нм, Upstream - 1575-1580 нм;
- Для обох стандартів передбачена однакова номенклатура втрат в ODN, але типовою є 28 дБ при коефіцієнті розгалуження спліттера, рівного 32 і довжини оптоволокна в 20 км;
- Обидва стандарти можуть використовувати коригувальні коди для підняття енергетичного бюджету ліній;
- Обидві технології підтримують всі види сучасних послуг зв'язку (голос, відео, дані).

Відмінності технологій GPON і GE-PON:

Технологія EPON розроблялася як елемент мережі NGN, в якій цифрові сигнали всіх сервісів на стороні абонента упаковуються в Ethernet-фрейми. Стандарт широко використовується в корпоративному сегменті і в мережах провайдерів Інтернет (ISP). Ефективно забезпечує підтримку таких сервісів як сервіси Інтернет мережі (Web, E-mail, FTP та ін.), А також VoIP, IPTV

Технологія GPON більше відповідає потребам телекомунікаційним операторам (Telco), так як забезпечує широкі можливості по «натуральній» передачі різного виду трафіку - від TDM до IP. Для цього використовується безліч перетворень користувальницьких цифрових сигналів, метою яких є інкапсуляція цифрових сигналів в GEM-фрейми. Термінальні пристрої з однаковими функціональними можливостями дорожче для GPON.

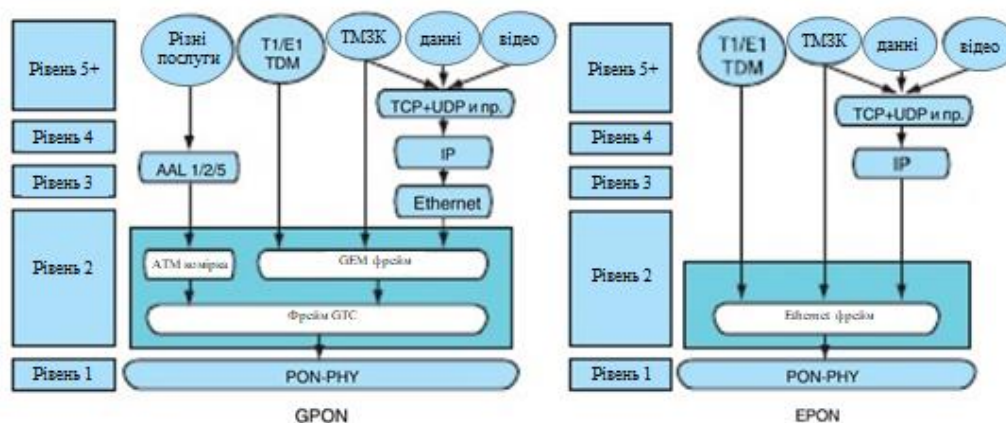


Рисунок 3.8 - Стек протоколів мереж GPON та GE-PON

Таблиця 3.1 - Порівняння технологій GPON та GE-PON

Технологія	GPON	GE-PON
Стандарт	MCE-T G.984.x	IEEE 802.3ah
Довжина хвилі UL/DL, нм	1310/1490	1310/1490
Одиниця переносу даних	GEM-фрейми	Ethernet-фрейми
Лінійна швидкість UL/DL, Гбіт/с	1,25/2,5	1,25/1,25
Лінійне кодування	NRZ (Non Return to Zero)	8B/10B (8 біт даних перетворюються у 10 біт лінійного сигналу)
Швидкість передачі даних в лінійному тракті, Гбіт/с	1,25/2,5	1/1
Типові допустимі втрати в ODN, дБ	28	28
Максимальна кількість ONT/ONU на один лінійний порт OLT (обмежено втратами в ODN)	128	64
Сервіси	TDM (E1, Nx64), CaTV, Інтернет-сервіси, VoIP, IPTV	CaTV, Інтернет-сервіси, VoIP, IPTV

3.4 Висновки з розділу 3

1. Ethernet PON (GE-PON) транспортує дані, інкапсульовані в Ethernet-фрейми. Стандарт IEEE 802.3 визначає дві базові конфігурації для Ethernet-мережі: використання загального середовища передачі та з'єднання за принципом «точка-точка». Але мережі GE-PON використовують комбінацію цих підходів.

2. Для реалізації динамічного розподілу часових інтервалів між ONU використовується протокол MPCP, що базується на двох повідомленнях Ethernet: GATE і REPORT. Також існують два режими роботи MPCP: автодетектування і звичайна робота. Але зважаючи на специфіку технології Ethernet залишається проблема обміну фреймами Ethernet користувачами однієї локальної мережі, підключеними до різних ONU.

3. Головною відмінністю технологій GPON і GE-PON є те, що технологія EPON(GE-PON) розроблялася як елемент мережі NGN, в якій цифрові сигнали всіх сервісів на стороні абонента упаковуються в Ethernet-фрейми. А для технології

GPON використовується безліч перетворень користувальницьких цифрових сигналів, метою яких є інкапсуляція цифрових сигналів в GEM-фрейми.

4 ЕВОЛЮЦІЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ GPON ТА GE-PON

4.1 Загальний сценарій розвитку мереж GPON та GE-PON

Пасивна оптична мережа (PON) має архітектуру точка-багатоточка (P2MP) для забезпечення широкосмугового доступу. Архітектура P2MP стала найпопулярнішим рішенням для розгортання FTTx серед операторів. FTTx на основі PON широко застосовується з 2004 року, коли 15-я Дослідницька комісія ITU-T завершила виконання рекомендацій, що визначають систему GPON [серія ITU-T G.984].

Оскільки повні послуги надаються за рахунок масового розгортання мереж PON по всьому світу, оператори очікують більшого від PON. До них відносяться поліпшена пропускна здатність і можливості сервісної підтримки, а також підвищена продуктивність вузлів доступу і допоміжного обладнання в існуючих мережах PON. Напрямок розвитку PON - ключове питання для телекомунікаційної галузі.

У міру того як технологія PON просувається з 1 Гбіт / с до 10 Гбіт / с і навіть на більш високих швидкостях, оператори готуються до майбутніх вимог щодо пропускної спроможності користувачів до 100 Мбіт / с і навіть 1 Гбіт / с. Вимога до основної смуги пропускання становить 100 Мбіт / с для приватних користувачів і 1 Гбіт / с для комерційних користувачів в наступні 5-10 років. На наступному рисунку прогнозується збільшення вимог до пропускної здатності для сценаріїв FTTB / C і FTTH.

10G PON підтримує максимальну швидкість низхідного потоку 10G, що може задовольнити вимоги доступу майбутніх користувачів. Що стосується вартості PON, то 10G PON буде коштувати в 3-5 разів дорожче GPON в наступні 2-3 роки. З огляду на величезну вартість розгортання мережі, сценарії FTTB / C є початковими додатками 10G PON, де вартість може бути розділена між великою кількістю користувачів.

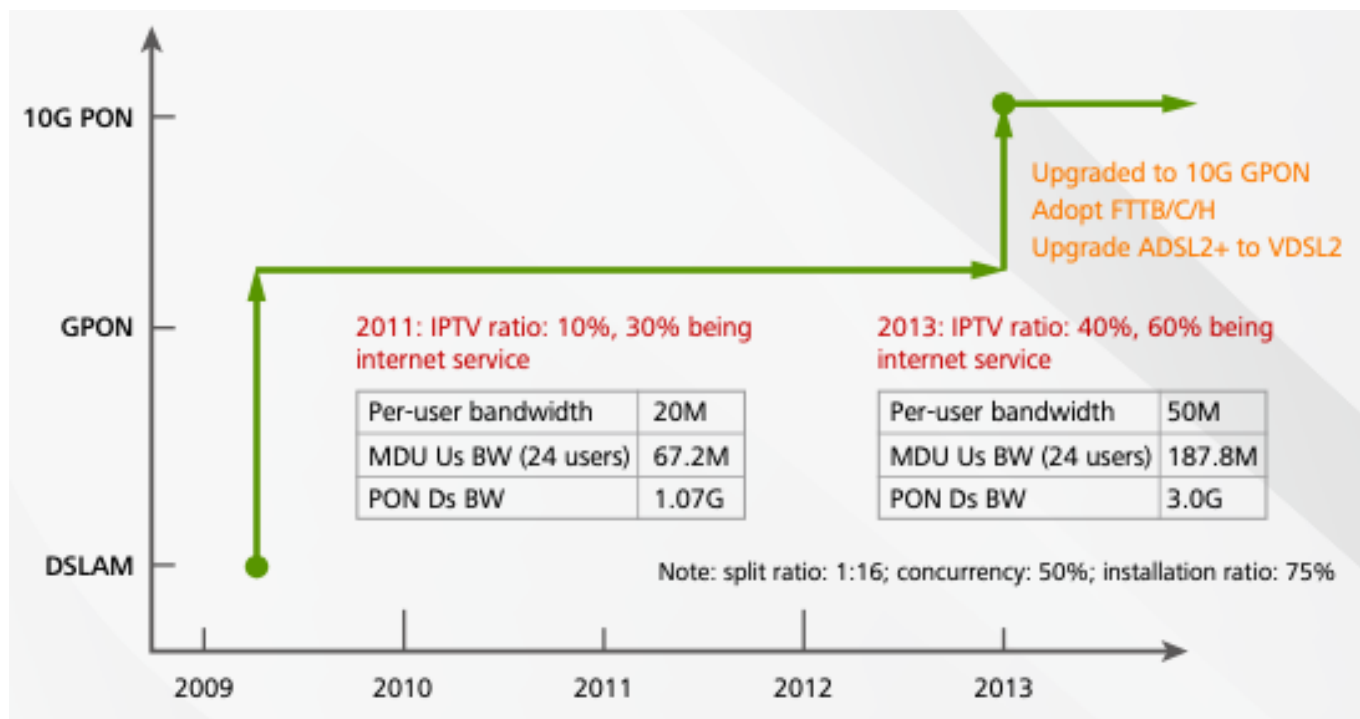


Рисунок 4.1 - Дорожня карта вимог до пропускної здатності для FTTB / C

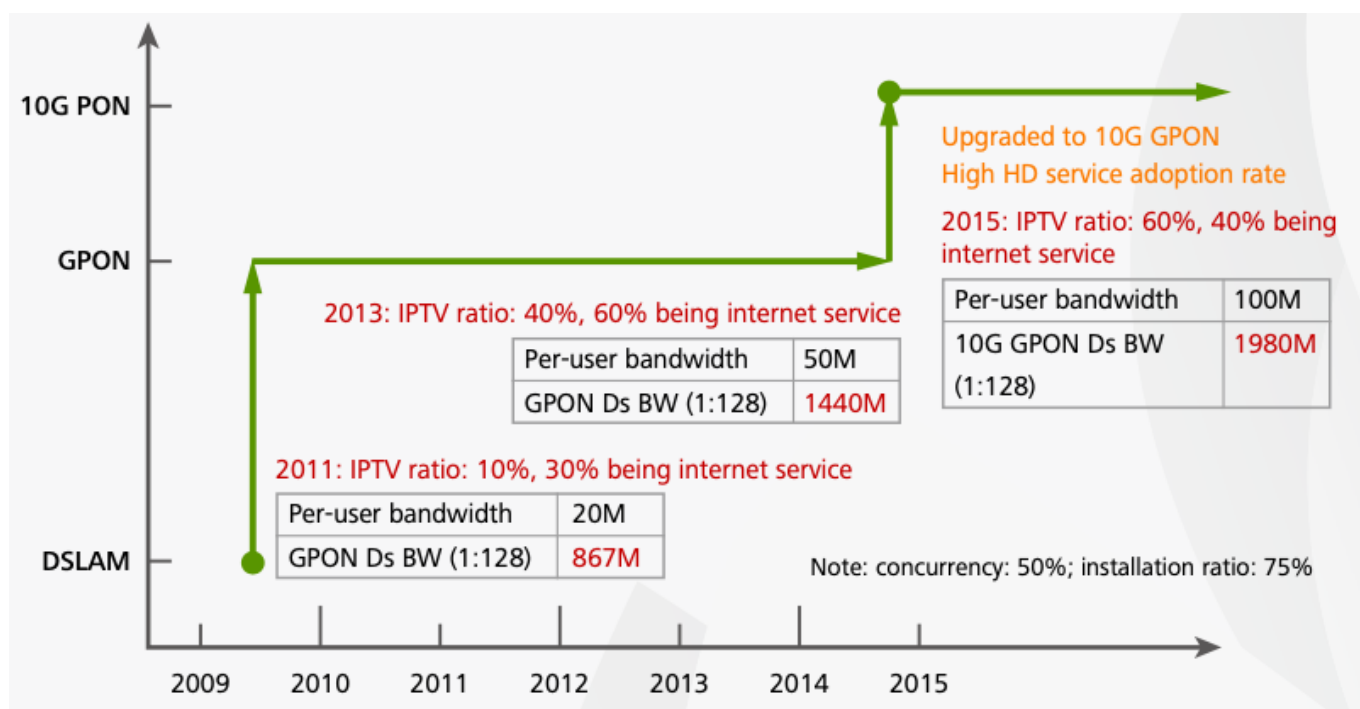


Рисунок 4.2 - Дорожня карта вимог до пропускної здатності для FTTH

Вартість ONU становить близько 60% від загальної вартості обладнання FTTH. Отже, великомасштабне розгортання 10G PON в сценарії FTTH залежить від розробки мікросхем і оптичних компонентів для 10G PON. Очікувалось, що в 2015 році вартість продуктів 10G PON буде приблизно такою ж, як і вартість поточних

продуктів GPON. Таким чином, до 2015 року оператори могли вибрати 10G PON, щоб збільшити пропускну здатність приватних користувачів до 100M і комерційних користувачів до 1G [20].

4.2 Перший етап розвитку: XG-PON, 10GE-PON. Основні показники, технічні принципи та архітектура

10-гігабітна пасивна оптична мережа (XG-PON) - це система PON, що підтримує номінальну швидкість передачі близько 10 Гбіт/с принаймні в одному напрямку та реалізує набір протоколів, зазначених у серії ITU-T G.987 Рекомендації [19].

Загальна характеристика XG-PON (NG-PON1):

Технологія XG-PON є удосконаленням технології GPON та зберегла її базові наступні принципи:

- метод мультиплексування на ділянці Downlink – TDM
- метод доступу на ділянці Uplink - TDMA
- метод розподілу часових інтервалів для TDMA-доступу ONT/ONU до OLT – Dynamic Bandwidth Allocation
- принципи забезпечення QoS та керування трафіком – розподіл по класам, пріоритетні черги з обслуговуванням за правилами SP або WRR
- принципи та протоколи віддаленого управління ONT/ONU через інтерфейс OMCI

Відмінності від GPON:

- для сумісності з існуючими мережами GPON в спільній оптичній розподільчій мережі (ODN) використовуються інші довжини світлових хвиль: DS – 1577нм замість 1490нм; US – 1270нм замість 1310нм
- покращені механізми забезпечення інформаційної безпеки
- покращені можливості по зниженню потужності, що споживається

- реалізовані можливості передачі синхросигналу у пакетній по природі мережі – технологія SyncE відповідно до рекомендацій MCE-T G.8261, G.8262, G.8264
- покращені можливості стосовно моніторингу

Основні технічні характеристики XG-PON (NG-PON1) наступні:

Таблиця 4.1 - Основні технічні характеристики XG-PON (NG-PON1)

Параметр	Значення	Примітка
Швидкість від OLT до ONU (Downstream), Гбіт/с	10	
Швидкість від ONU до OLT (Upstream), Гбіт/с	2,5	Для стандарту XGS-PON (симетричний) – 10 Гбіт/с
Довжина хвилі Downstream, нм	1575...1580	Частіше зустрічається 1577 нм
Довжина хвилі Upstream, нм	1260...1280	Частіше зустрічається 1270 нм
Метод мультиплексування	TDMA (Uplink) TDM (Downlink)	Такий як для GPON
Допустимі втрати ODN (Loss budget), дБ	29...31	Можливе збільшення до 33 дБ
Коефіцієнт розгалуження сплітерів на один інтерфейс OLT (обмежується втратами ODN)	До 128	
Максимальна відстань по оптоволокну від OLT до ONU, км	20	Можливе збільшення відстані за рахунок встановлення регенератора (Reach Extender)
Сумісність	GPON (1310/1490 нм) RF-video (1550 нм)	З використанням WDM мультиплексора, або сплітера

XG-PON1 - це розширення GPON. Він успадковує багатоточкову (P2MP) архітектуру GPON і може підтримувати різні сценарії доступу, такі як оптоволокну до будинку (FTTH), оптоволокну до стільниці (FTTCell), оптоволокну до будівлі

(FTTB), оптоволокну до бордюру (FTTCurb) і волокна до шафи (FTTCabinet).
Сценарії застосування XG-PON1 показані на рис 4.3.

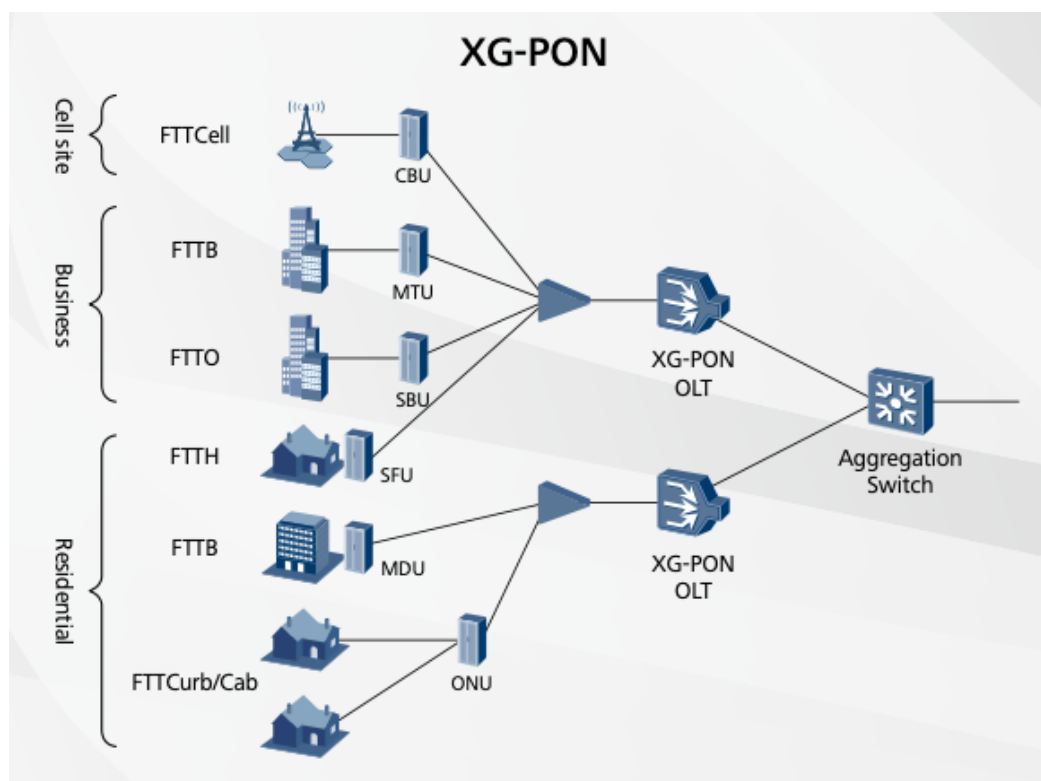


Рисунок 4.3 - Приклад сценаріїв XG-PON

Стандартизація 10G-EPON (IEEE Std 802.3av) була розпочата з мети, обмеженою додаванням специфікацій фізичного рівня 10 Гбіт/с до стандартних специфікацій GE-PON. Однак пізніше до мети було додано плавне оновлення системи з GE-PON, оскільки в той час вже почалось повсюдне її розгортання. Також були прийняті деякі необхідні поправки до інших рівнів (рівень MAC і вище) для відповідності новим специфікаціям фізичного рівня, а також для забезпечення плавного оновлення системи.

Для забезпечення плавного поновлення в стандарті 10G-EPON передбачається, що такі три типи ONU можуть співіснувати в одній PON (рис 4.4.).

- Симетричний 10G-EPON ONU (10G / 10G),
- Асиметричний 10G-EPON ONU (1G / 10G),
- GE-PON ONU (1G / 1G).

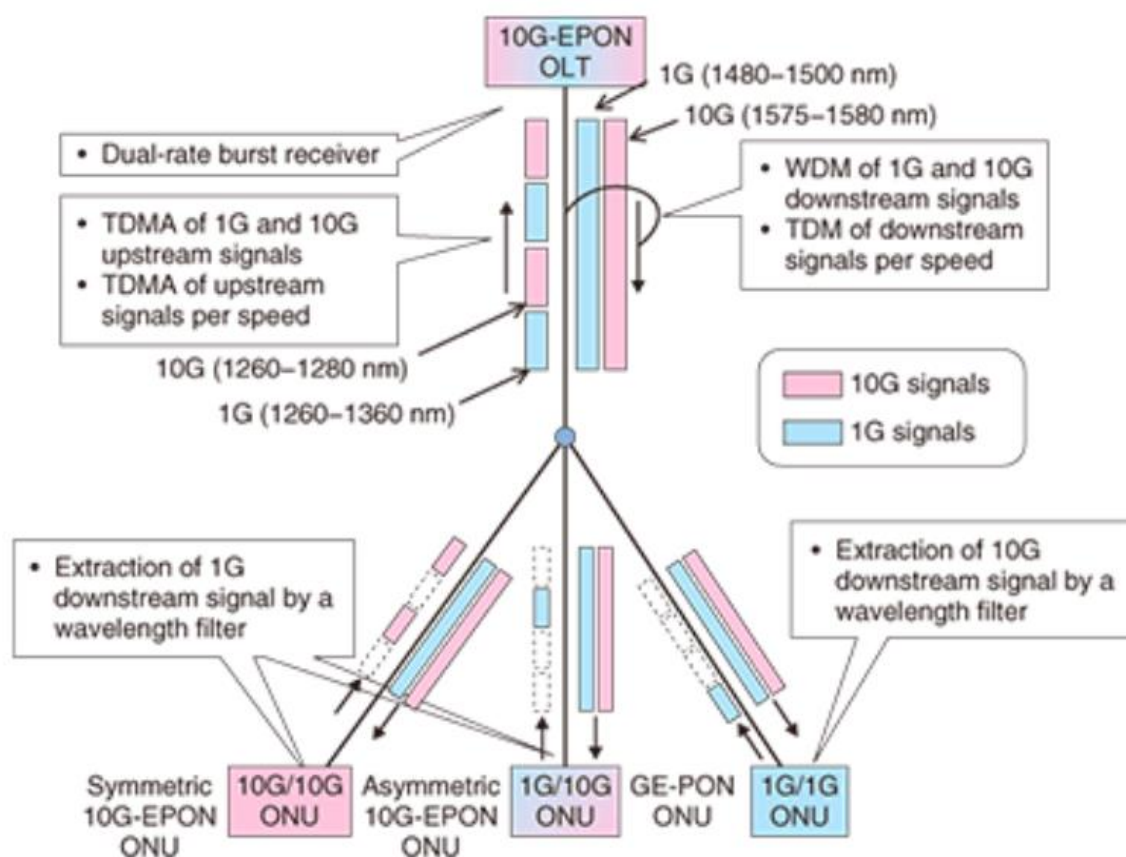


Рисунок 4.4 - Схема мультиплексування сигналів в IEEE 10G-EPON

Сигнали 1G / 10G передаються в різних діапазонах довжин хвиль (1480-1500 нм в висхідному напрямку і 1575-1580 нм в низхідному) в OLT, і ONU вибирає той чи інший сигнал за допомогою фільтра довжини хвилі: цей процес називається мультиплексуванням з поділом по довжині хвилі (WDM).

Сигнали 1G/10G передаються в одному і тому діапазоні довжин хвиль (1260-1360 нм в висхідному напрямку і 1260-1280 нм в низхідному напрямку) в ONU, але висхідний сигнал від кожного ONU передається так, щоб прибути в OLT в інший час, ніж ті інших під керуванням OLT: ця схема називається множинним доступом з тимчасовим поділом каналів (TDMA). Для прийому послідовних висхідних сигналів, що мають різні швидкості (1 Гбіт / с або 10 Гбіт / с) і різні потужності один від одного, в OLT необхідний двошвидкісний пакетний приймач.

Розподіл довжин хвиль для GE-PON, асиметричного 10G-EPON і симетричного 10G-EPON сумовано у верхній частині рис 4.5. Як показано на цьому

рисунку, радіочастотне накладення (RF) відео на PON (з використанням 1550-1560 нм) розглядається як в 10G-EPON, так і в GE-PON [21].

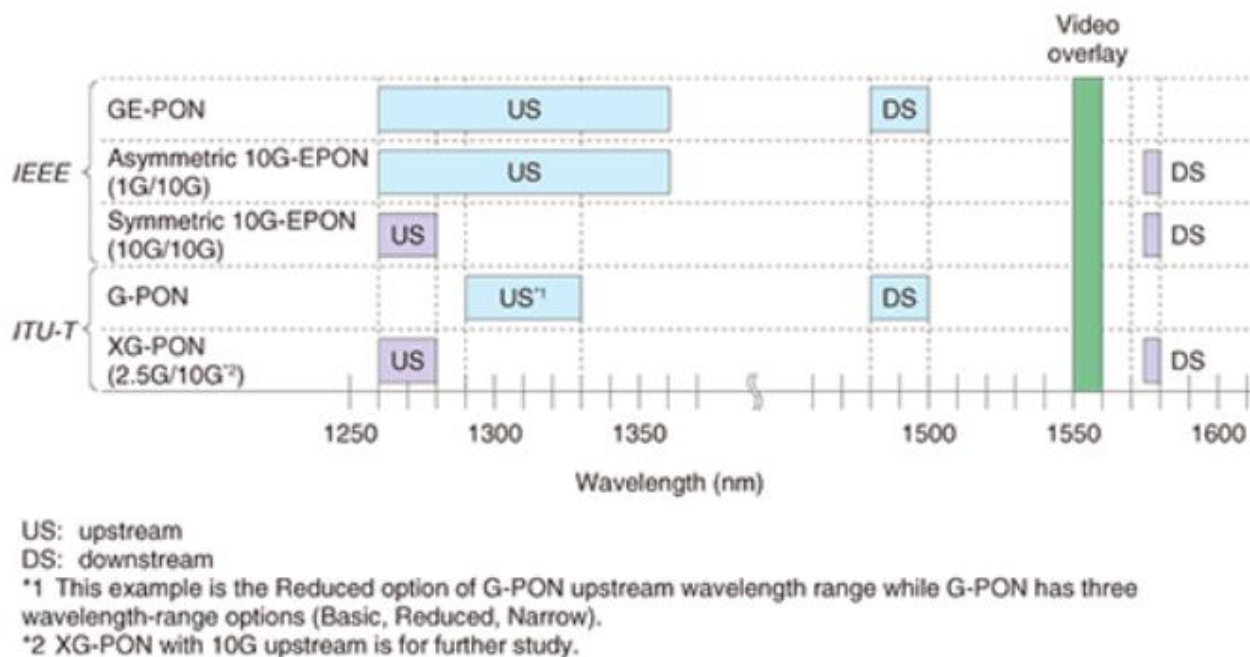


Рисунок 4.5 - Розподіл довжин хвиль для IEEE GE-PON і 10G-EPON і ITU-T G-PON і XG-PON

4.3 Другий етап розвитку: 40GPON, 100GE-PON. Основні показники, технічні принципи та архітектура

NG-PON2 (також відомий як TWDM-PON), пасивна оптична мережа нового покоління 2, є стандартом телекомунікаційної мережі 2015 для пасивної оптичної мережі (PON). Стандарт був розроблений ITU і детально описує архітектуру, що забезпечує загальну пропускну здатність мережі до 40 Гбіт / с, що відповідає симетричним швидкостям висхідного / низхідного потоку до 10 Гбіт / с, доступним для кожного абонента [22].

Загальна характеристика 40G-PON (NG-PON2):

- На низхідній ділянці використовується 4 довжини хвиль
- На кожній хвилі низхідний ділянки може передаватися потік до 10 Гбіт/с
- На висхідній ділянці швидкість передачі – до 2,5 Гбіт/с
- Мобільність по вибору довжини хвилі на стороні ONU за рахунок використання оптики, що переналаштовується на потрібну довжину хвилі.

Мобільність дозволяє інкрементальне оновлення ємності каналу доступу за потребою трафіку, що відповідає принципу «Pay as you grow»

- Можливість агрегації трафіку, що передається на декількох хвилях, для досягнення швидкостей для кожного ONU більших ніж 10 Гбіт/с
- Більш широкі можливості по резервуванню в системі доступу за рахунок маневру між інтерфейсами OLT та довжинами хвиль
- Можливість розподілу клієнтів різних категорій, наприклад, бізнес-клієнтів та клієнтів масового сегменту по різних хвилях

Використання технології TWDM (Time division and Wavelength division Multiplexing) для побудови NG-PON2:

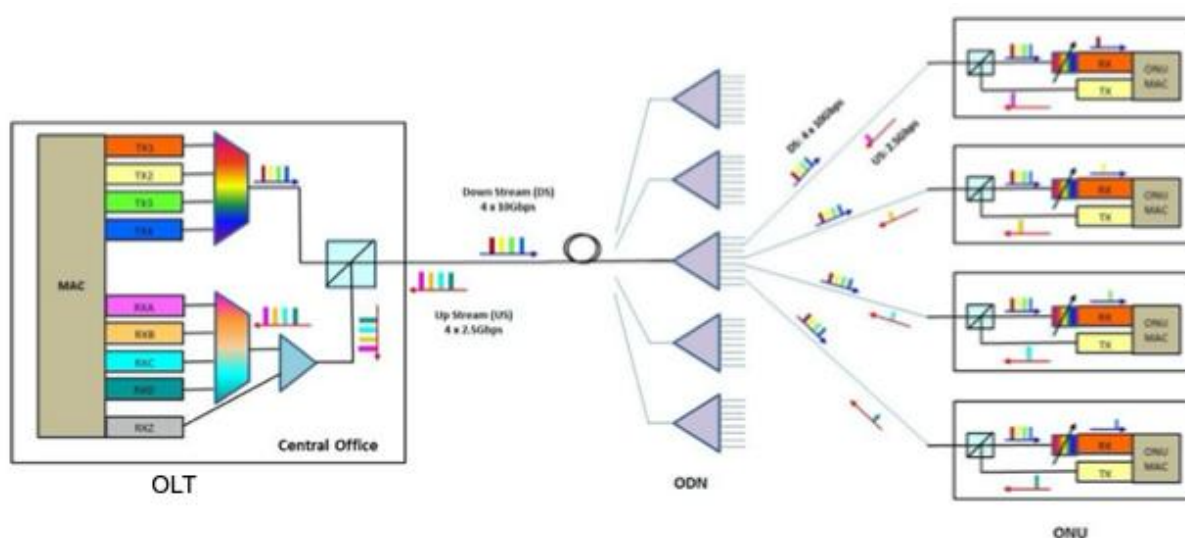


Рисунок 4.6 - Використання технології TWDM (Time division and Wavelength division Multiplexing) для побудови NG-PON2

- На низхідній ділянці використовуються 4 довжини хвиль на яких є згрупованим трафік до ONU методом TDM (так як і в GPON)
- Кожен ONU може приймати трафік на одній чи декількох хвилях
- На висхідній ділянці використовується метод TDMA (так як і в GPON)
- На висхідній ділянці ONU передають трафік на одній з хвиль зі швидкістю до 2,5 Гбіт/с (залежить від інтервалу часу, що надається даному ONU відповідно до його запиту).

4.4 Сумісність існуючих та перспективних технологій широкосмугового доступу

XG-PON1 співіснує з GPON в одному ODN, тим самим захищаючи інвестиції операторів в GPON. Як зазначено в специфікаціях фізичного рівня XG-PON1, довжина хвилі висхідного / низхідного потоку XG-PON1 відрізняється від довжини хвилі GPON. Сумісність між XG-PON1 і GPON досягається за рахунок реалізації WDM в низхідному напрямку і WDMA в висхідному. Тобто WDM1r розгорнуто в центральному офісі, а WBF розгорнуть на стороні користувача (може бути розташований всередині ONU, між ONU і оптичним спліттером або на оптичному сплітері) для мультиплексування або демультиплексування довжин хвиль на декількох сигналах в низхідному і висхідному напрямках. Співіснування GPON і XG-PON1 показано на рис 4.7 [20].

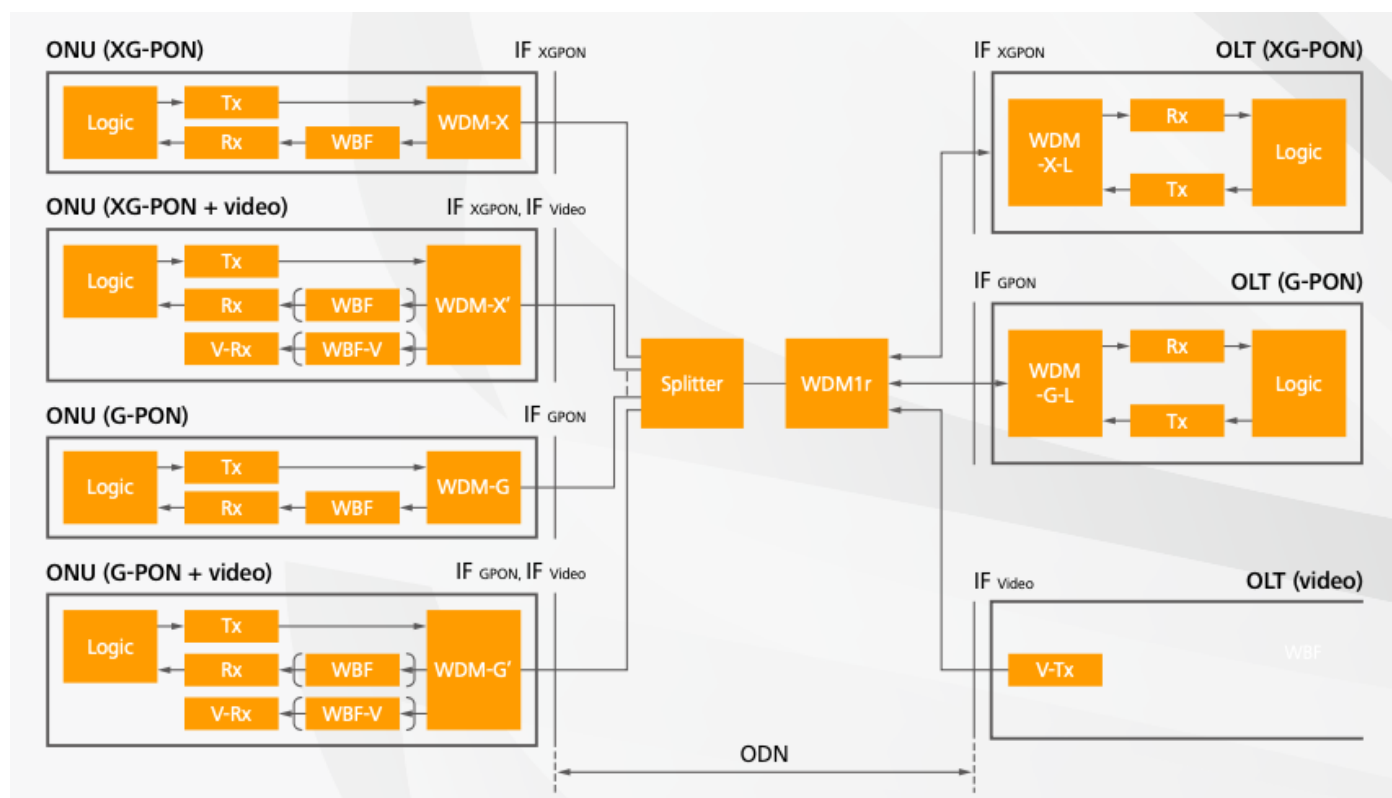


Рисунок 4.7 - Співіснування XG-PON1 і GPON за допомогою WDM1r

Також сумісність цих мереж можемо бачити на рис 4.8.

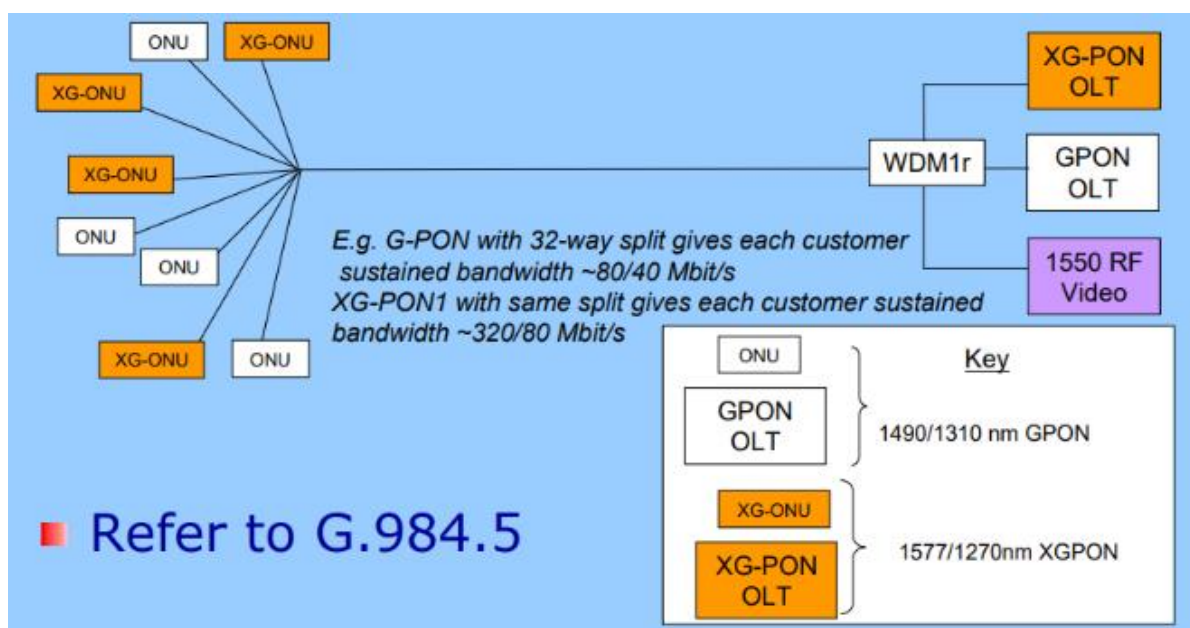


Рисунок 4.8 Сумісність мереж XG-PON (NG-PON1) з мережами GPON

Загальну характеристику новітніх технологій PON розглянуто в таблиці наведеній нижче:

Таблиця 4.2 - Характеристика новітніх технологій PON

Система	NG-PON1			NG-PON2	
	XG-PON	XGS-PON	10G-EPON	40G-PON	100G-EPON
Стандарти	ITU-T G.987x (2009)	ITU-T G.987x (2016)	IEEE 802.3av (2009)	ITU-T G.989x (2015)	IEEE 802.3ca (2009)
Швидкість DS/US, Гбіт/с	10/2,5	10/10	10/1	40/2,5	100/100
Максимальний коефіцієнт розгалуження на один OLT	128	128	128	128	Немає даних
Сумісність	GPON	GPON	GE-PON	GPON	GE-PON

Співіснування 10G-EPON і GE-PON може бути досягнуто за рахунок використання специфікацій, а також двошвидкісного алгоритму динамічного розподілу смуги пропускання, який виходить за рамки стандарту, щоб мережеві оператори могли плавно модернізувати системи PON. Щодо специфікацій, то вони такі [21]:

- Регульований час включення / вимикання лазера в багатоточковому управлінні MAC (MPMC), яке було фіксованим значенням в GE-PON, щоб забезпечити гнучку роботу системи, узгоджену з характеристиками лазерів, що передають пакетні сигнали висхідного потоку
- Розширені фрейми управління MAC для забезпечення різних реалізацій управління MAC, які не визначені в IEEE Std 802.3, для гнучкої відповідності різним системним вимогам
 - Активація вікна ранжирування для кожної швидкості висхідного потоку в MPMC, щоб забезпечити співіснування трьох типів ONU і розрізнення між GE-PON і асиметричним 10G-EPON з одних і тих же фреймів висхідного потоку 1G.

4.5 Висновки з розділу 4

1. Архітектура P2MP наразі найпопулярніше рішення для розгортання FTTx серед операторів. Головне завдання досягти поліпшеної пропускної здатності і можливості сервісної підтримки, а також підвищеної продуктивності вузлів доступу і допоміжного обладнання в існуючих мережах PON.

2. XG-PON1 - 10-гігабітна пасивна оптична мережа, яка успадковує багатоточкову (P2MP) архітектуру GPON і може підтримувати різні сценарії доступу: FTTH, FTTCcell, FTTB, FTTCurb, FTTCabinet. А 10G-EPON була розпочата з мети, обмеженою додаванням специфікацій фізичного рівня 10 Гбіт/с до стандартних специфікацій GE-PON.

3. 40G-PON (NG-PON2) детально описує архітектуру, що забезпечує загальну пропускну здатність мережі до 40 Гбіт / с, що відповідає симетричним швидкостям висхідного / низхідного потоку до 10 Гбіт / с, доступним для кожного абонента.

4. XG-PON1 може співіснувати з GPON в одному ODN, що досягається за рахунок реалізації WDM в низхідному напрямку і WDMA в висхідному. А співіснування 10G-EPON і GE-PON - за рахунок використання специфікацій, а також двошвидкісного алгоритму динамічного розподілу смуги пропускання, який виходить за рамки стандарту.

ВИСНОВКИ

У роботі були розглянуті існуючі варіанти побудова волоконно-оптичної кабельної інфраструктури, особливості їх реалізації, переваги та недоліки. Основною задачею було розглянути застосовані в даний час технології, які можуть надати економічно вигідного рішення для задоволення зростаючих потреб.

Отже, найкращими вважаються технології прокладанням кабелю до будівлі (FTTB) та безпосередньо до абонента (FTTH), що пояснюється постійним зростанням вимог до пропускної здатності каналів зв'язку. Якщо їх аналізувати з точки зору архітектури, то FTTB переважає в новобудовах, а FTTH - в малоповерховому будівництві. У FTTB немає необхідності прокладати дорогий оптичний кабель з великою кількістю волокон, як при використанні FTTH, також ця технологія дозволяє значно знизити рівень перешкод. А FTTH в свою чергу має високу пропускну смугу, дозволяє досягати хороших швидкостей та має два основних шляхи розгортання високошвидкісних мереж: AON і PON.

PON - підходить для довгих дистанцій, AON - якщо мережа створюється для використання лише кількома особами, тому при прийнятті рішення про вибір оптичної мережі варто врахувати, яким буде клієнт, які послуги йому потрібні, і масштаб самої мережі. Але все ж таки частіше використовують саме PON. Така технологія передбачає створення розгалуженої мережі без використання активних компонентів.

На сьогодні, для побудови мереж доступу PON, оператори зв'язку можуть використовувати обладнання, що базується на одній з двох груп стандартів: за Рекомендаціями IEEE або MCE-T, відрізняючись між собою базовим протоколом передачі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технология FTTx [Електронний документ] - Режим доступу: <https://prointech.ru/kb/tehnologii-xpon/tehnologiya-fttx/>.
2. ШИРОКОСМУГОВИЙ ДОСТУП ДО МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ ЯК ВАЖЛИВА ПЕРЕДУМОВА ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ [Електронний документ] - Режим доступу: http://old2.niss.gov.ua/content/articles/files/Dubov_dostup-02ccf.pdf.
3. ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ВОЛЗ [Електронний документ] - Режим доступу: https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/8500/1/3_zhulenko.pdf.
4. FTTx - оптико-волоконная технология подключения [Електронний документ] - Режим доступу: <http://www.ots-telecom.ru/stati-1/fttx>.
5. Обзор технологии FTTx [Електронний документ] - Режим доступу: <https://www.nsc-com.com/technologies-and-solutions/technology-fttx/fttx-technology-overview>.
6. Технологии доступа на оптических линиях связи [Електронний документ] - Режим доступу: <https://siblec.ru/telekommunikatsii/vychislitelnye-sistemy-seti-i-telekommunikatsii/14-printsipy-postroeniya-setej-abonentskogo-dostupa/14-6-tekhnologii-dostupa-na-opticheskikh-liniyakh-svyazi>.
7. Манікін В.В. Путівник по FTTX / Манікін В.В. – М.: EXFO, 2009. – 191 с.
8. AON vs PON Networks: Which One to Choose for FTTH Systems [Електронний документ] - Режим доступу: <https://community.fs.com/blog/pon-vs-aon-in-ftth-systems.html>.
9. Технология FTTx [Електронний документ] - Режим доступу: <https://www.cmo.ru/articles/3554>.
10. Архитектура оптических сетей доступа FTTH (Fiber-to-the-Home) [Електронний документ] - Режим доступу: https://fibertool.ru/news/kommentarii_spetsialista/fiber-to-the-home.

- 11.Проектування та експлуатація сучасних мереж широкосмугового доступу: навч. посіб. для дипломного проектування та магістерських робіт / [В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков]. – Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 267 с.
- 12.Архитектура оптических сетей доступа FTTH (Fiber-to-the-Home) [Електронний документ] - Режим доступу: https://fibertool.ru/news/kommentarii_spetsialista/fiber-to-the-home/ .
13. Є.В. Грабовський Технології побудови мережі інтернет-сервіс провайдера.
- 14.Пассивные оптические сети bpon и gpon [Електронний документ] - Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9786428/page:8/> .
- 15.Следующий шаг PON-сетей [Електронний документ] - Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/398101/> .
- 16.ТЕХНОЛОГІЇ GPON [Електронний документ] - Режим доступу: <http://kompot.uz.ua/compot/gpon-technology/> .
- 17.QOS – ПРИОРИТИЗАЦИЯ ТРАФИКА [Електронний документ] - Режим доступу: https://moxa.ru/tehnologii/ethernet_network/qos/ .
- 18.Пассивные оптические сети (PON/EPON/GEAPON) [Електронний документ] - Режим доступу: <http://book.itep.ru/4/41/pon.htm> .
- 19.[ITU-T; “G.987.1 - 10 Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON): General Requirements”; Geneve, January 2010.
- 20.Next-Generation PON Evolution Huawei Technologies Co., Ltd. 2010
- 21.Josep Joan Prat Gomà José Antonio Lázaro Villa WDM/TDM PON Bidirectional Networks Single- Fiber/Wavelength RSOA-based ONUs Layer 1/2 Optimization 2013
- 22.NG-PON2 [Електронний документ] - Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/NG-PON2> .